



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA

CLAUDIO SANTOS DA SILVA FILHO

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A
INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO ALTO CURSO DO RIO
URAIM, PARAGOMINAS/PA

BELÉM – PARÁ

2023

CLAUDIO SANTOS DA SILVA FILHO

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A
INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO ALTO CURSO DO RIO
URAIM, PARAGOMINAS/PA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização de riscos e mitigação de desastres naturais na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico.

Orientadora: Prof. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima

Coorientadora: Prof. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade

BELÉM – PARÁ

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S586g Silva Filho, Claudio Santos da.
 Geotecnologias aplicadas à análise de suscetibilidade a
 inundações: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do rio
 Uraim, Paragominas/PA / Claudio Santos da Silva Filho. — 2023.
 64 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof^a. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
 Coorientação: Prof^a. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão
 de Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2023.

 1. Inundação. 2. Suscetibilidade. 3. Uso e Cobertura da
 Terra. 4. Análise multicritério espacial. 5. Geoprocessamento.
 I. Título.

CDD 363.3409811

CLAUDIO SANTOS DA SILVA FILHO

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A
INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO ALTO CURSO DO RIO
URAIM, PARAGOMINAS/PA**

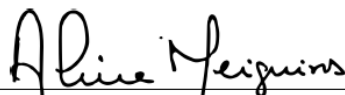
Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização de riscos e mitigação de desastres naturais na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico.

Data de Aprovação: 20/04/2023

Banca Examinadora:



Prof. Aline Maria Meiguins de Lima – Orientadora
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



SILVANA DO SOCORRO VELOSO SODRE
Data: 12/06/2023 07:57:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Silvana do Socorro Veloso Sodré
Doutora em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal Rural da Amazônia

Documento assinado digitalmente



GIORDANI RAFAEL CONCEICAO SODRE
Data: 09/06/2023 10:40:11-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Giordani Rafael Conceição Sodré
Doutor em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



BRENO CESAR DE OLIVEIRA IMBIRIBA
Data: 14/06/2023 09:56:37-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba
Doutor em Física
Universidade Federal do Pará

RESUMO

Os processos de inundações são um dos principais desastres na Região Amazônica, em que durante eventos de chuvas intensas e/ou prolongadas, somados a outros fatores condicionantes, várias bacias hidrográficas são afetadas por um aumento do nível da água que pode causar danos à população. O município de Paragominas (PA), assim como outros da Região, encontra-se dentre os que de forma recorrente tem buscado atuar para minimizar o efeito das inundações. Por essas razões, a identificação e mapeamento de áreas suscetíveis a inundações é essencial para os tomadores de decisão. Os Sistemas de Informação Geográfica, utilizados para viabilizar este estudo, são, atualmente, excelentes ferramentas de suporte, precisas e valiosas para a definição dessas áreas suscetíveis em diferentes escalas espaciais. O presente trabalho representa uma análise inovadora de mapeamento de inundações através da Análise Hierárquica de Processo (AHP) “Gaussiana”, difundida a partir de 2021, mas sem experimentos na área de ciências ambientais e geotecnologias. Este estudo também avalia o impacto de diferentes fatores condicionantes no mapeamento de suscetibilidade a inundações e sua importância na construção de um mapeamento preciso de regiões com potencial de inundação. São considerados onze fatores condicionantes da suscetibilidade a inundações: uso e cobertura da terra, cobertura de solos, hipsometria, declividade, unidades de geomorphons, distribuição da precipitação pluviométrica, parâmetro HAND, fluxo acumulado, Índice Topográfico de Umidade, Índice de Potência de Escoamento e distância do rio. Estabelecido ao longo do mapa de suscetibilidade a inundações gerado, verifica-se que cerca de 38% das áreas edificadas do município está sob uma condição de alta a muito alta suscetibilidade. Para atestar o zoneamento resultante, foram consultados os relatórios e registros de ocorrências da Defesa Civil e Serviço Geológico do Brasil (CPRM). As áreas de maior suscetibilidade a inundações são encontradas nas margens do rio Uraim e igarapé Paragominas, agravando-se nas proximidades da confluência entre estes. O estudo permite a definição de medidas corretivas, preventivas e de planejamento urbano.

Palavras-chave: geoprocessamento; análise multicritério espacial; uso e cobertura da terra; suscetibilidade; inundação.

ABSTRACT

The flooding processes are one of the main disasters in the Amazon Region, in which during intense and/or prolonged rainfall events, added to other conditioning factors, several hydrographic basins are affected by an increase in the water level that can cause damage to the population. The municipality of Paragominas (PA), as well as others in the Region, is among those that have repeatedly sought to act to minimize the effect of flooding. For these reasons, identifying and mapping areas susceptible to flooding is essential for decision makers. The Geographic Information Systems, used to enable this study, are currently excellent support tools, accurate and valuable for the definition of these susceptible areas at different spatial scales. The present work represents an innovative analysis of flood mapping through the "Gaussian" Hierarchical Process Analysis, disseminated from 2021, but without experiments in the area of environmental sciences and geotechnologies. This study also evaluates the impact of different conditioning factors on the mapping of susceptibility to floods and their importance in the construction of an accurate mapping of regions with flood potential. Eleven factors conditioning the susceptibility to floods are considered: land use and land cover, soil cover, hypsometry, slope, geomorphon units, rainfall distribution, HAND parameter, accumulated flow, Topographic Wetness Index, Stream Power Index and distance from the river. Established along the flood susceptibility map generated, it turns out that about 38% of the built-up areas of the municipality are under a condition of high to very high susceptibility. To attest to the resulting zoning, the reports and records of occurrences of the Civil Defense and Geological Survey of Brazil (CPRM) were consulted. The areas of greatest susceptibility to flooding are found on the banks of the Uraim River and Paragominas stream, aggravating in the vicinity of the confluence between these. The study allows the definition of corrective, preventive and urban planning measures.

Keywords: geoprocessing; spatial multicriteria analysis; land use and land cover; susceptibility; flood.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade com elementos de interseção do desastre.	15
Figura 2 - A influência da urbanização em diferentes etapas do ciclo da água.....	16
Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do rio Uraim e sua divisão no Alto Uraim.	23
Figura 4 - Média da Precipitação Pluviométrica do município de Paragominas, referente ao período de 2000 a 2020.....	24
Figura 5 - Hidrografia da Sub-bacia do alto curso do rio Uraim.....	25
Figura 6 - Etapas de processamento para o HAND.....	31
Figura 7 - Procedimento para calcular a grade HAND. As células azuis representam pontos de grade pertencentes à rede de drenagem. Apenas as setas são consideradas como caminhos de fluxo.....	31
Figura 8 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....	38
Figura 9 - Classes de Cobertura de Solos.....	40
Figura 10 - Classes de altimetria.....	41
Figura 11 - Mapa de Declividade.....	42
Figura 12 - Unidades de <i>Geomorphons</i>	43
Figura 13 - Classes de precipitação pluviométrica, média do acumulado anual, período de 2000 a 2020.....	44
Figura 14 - Parâmetro HAND.....	45
Figura 15 - Classes segundo o Fluxo Acumulado.....	46
Figura 16 - Classes segundo o Índice Topográfico de Umidade (TWI).....	47
Figura 17 - Classes segundo o do Índice de Potência de Escoamento (SPI).....	47
Figura 18 - Equidistâncias dos canais de drenagem.....	49
Figura 19 - Mapa de suscetibilidade a inundações na SBAU.....	50
Quadro 1 - Descrição dos parâmetros morfométricos e seus respectivos métodos de obtenção.	27
Quadro 2 - Descrição das classes de uso e cobertura da terra.....	29
Quadro 3 - Agrupamento das classes de relevo.....	30
Quadro 4 - Relação das estações pluviométricas utilizadas no estudo.....	32
Quadro 5 - Características dos critérios para a normalização cardinal dos mapas.....	34
Quadro 6 - Etapas para análise AHP Gaussiana.....	35
Quadro 7 - Declividade e amplitude topográfica das formas de relevo identificadas no estado do Pará.....	41
Quadro 8 - Descrição das unidades agradacionais.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reclassificação das áreas suscetíveis à inundação.	35
Tabela 2 - Características morfométricas da SBAU.....	36
Tabela 3 – Classes de uso e cobertura da terra, para o ano de 2020.....	39
Tabela 4 - Registros de Ocorrências S2iD versus pluviometria.	46
Tabela 5 - Distribuição, por equidistâncias, das áreas edificadas da SBAU em relação à rede de drenagem.....	48
Tabela 6 - Resultado da análise AHP Gaussiana.....	49
Tabela 7 - Distribuição, por classe de suscetibilidade, das áreas edificadas da SBAU.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Conceitos fundamentais e legislação pertinente	14
3.2 A dinâmica das águas em Bacias Hidrográficas.....	16
3.3 Análise Multicritério Espacial.....	18
3.4 Fatores Condicionantes de Inundação.....	19
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 Localização da área de estudo	23
4.2 Aspectos Hidroclimáticos.....	24
4.2.1 Clima	24
4.2.2 Hidrografia	25
4.3 Material e Métodos.....	26
4.3.1 Obtenção de Dados.....	26
4.3.2 Sistema de Informações Geográficas	26
4.3.2.1 Análise Morfométrica	27
4.3.2.2 Uso e Cobertura da Terra	29
4.3.2.3 Cobertura de solos	29
4.3.2.4 Fatores derivados do Modelo Digital de Elevação.....	29
4.3.2.5 Distância da rede de drenagem.....	32
4.3.2.6 Distribuição da precipitação pluviométrica	32
4.3.3 Análise Multicritério Espacial - AHP Gaussiano	32
4.3.3.1 Declaração do objetivo, critérios de decisão e alternativas.....	33
4.3.3.2 Normalização Cardinal de Critérios para Matriz de Decisão.....	33

4.3.3.3 Fator Gaussiano.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Análise Morfométrica.....	36
5.2 Fatores Condicionantes.....	38
5.2.1 Uso e Cobertura da Terra.....	38
5.2.2 Cobertura de Solos	39
5.2.3 Hipsometria, Declividade e <i>Geomorphons</i>	40
5.2.4 Distribuição da Precipitação Pluviométrica	43
5.2.5 HAND.....	44
5.2.6 Fluxo Acumulado, TWI e SPI	46
5.2.7 Distância do rio.....	48
5.3 Análise de Suscetibilidade à Inundação	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICE A - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES NO ALTO CURSO DO RIO URAIM (PARAGOMINAS/PA)	60

1 INTRODUÇÃO

A contextualização das ocorrências de desastres naturais em centros urbanos, se mostra fundamental no entendimento da relação causa e efeito de um presente ou ausente plano de ordenamento territorial. Os problemas de ordenamento territorial são evidentes e expressivos quando há um rápido crescimento populacional, demandando áreas habitacionais. A partir dessa demanda, muitos loteamentos surgem, sejam nas áreas centrais, comumente verticalizadas, sejam nas áreas marginais, comumente horizontais, de baixo valor de aquisição, em condições menos favoráveis à ocupação (FURLAN; SPINELLI, 2020).

A ocupação por uma população mais vulnerável em locais aplainados com pouca declividade, proximidade a canais de drenagem fluvial ou em planícies de inundação, são mais suscetíveis a serem afetadas por inundações. Nesse contexto, a inundação é considerada um desastre natural, porém a frequência e a intensidade de ocorrência associadas aos diferentes usos e coberturas da terra elevam o nível de suscetibilidade à inundação (VIEIRA; ISENSSE; CLAUDINO, 2020). Os impactos são intensificados com alteração da dinâmica ambiental, desencadeando processos de impermeabilização do solo, de canalizações e alterações de canais de drenagem (FURLAN; SPINELLI, 2020).

Dessa forma, independente das épocas e/ou disponibilidade de infraestrutura ou tecnologia, esse tipo de evento sempre existiu, como afirmado por Tucci (2003, p. 45), onde a *“inundação urbana é uma ocorrência tão antiga quanto as cidades ou qualquer aglomerado urbano”*. Contudo, a diferença é que com o avanço da ciência, é possível prever as suas ocorrências, (re)criar condições não favoráveis para o seu acontecimento, criar mecanismos de alertas e planos de atendimento a emergências (KOBAYAMA; GOERL; MONTEIRO, 2018).

Além dos fatores naturais (regime hídrico e climático, condições do relevo, morfometria das bacias hidrográficas) e antrópicos (uso e cobertura da terra) que propiciam as inundações, é imprescindível considerar a condição socioespacial da população (SOUZA; SANTOS, 2019). A avaliação da suscetibilidade à inundação é necessária em locais precários cuja população de menor renda reside, pois esta não dispõe de melhores condições de recursos para executar medidas estruturais tornando-a vulnerável e exposta em maior grau aos eventos de inundação (FRAGOSO; SILVA, 2019; MOREIRA; KOBAYAMA, 2021).

As áreas suscetíveis a inundações precisam ser detectadas não apenas para implementar estratégias adequadas de planejamento e gestão do território, mas também para garantir medidas de emergência rápidas e eficazes (LIUZZO; SAMMARTANO; FRENI, 2019). Nesse sentido, a identificação e cartografia das áreas suscetíveis a inundações apoia uma gestão de inundações

bem-informada e ajuda a reduzir riscos e perdas sociais e econômicas (JANIZADEH et al., 2019).

A adoção de uma unidade de análise facilita a compreensão dos fatores envolvidos, sendo as bacias hidrográficas boas indicadoras pela sua resposta à dinâmica de alterações do espaço (SILVA; MEDEIROS, 2018; SILVA FILHO et al., 2021). Esta é uma prerrogativa indicada pela Lei Federal n. 9.433 de 08 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e pela Lei Estadual n. 6.381 de 25 de julho de 2001 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Dentre as diversas dinâmicas que ocorrem em bacias hidrográficas, destacam-se os diferentes usos e coberturas da terra em sua área de contribuição. As práticas humanas, tais como a supressão de áreas vegetadas, para a instalação de pastagens ou de práticas agrícolas, além do crescimento urbano, alteram sistematicamente as condições de escoamento superficial, potencializando os riscos a inundações (MORAES; LIMA; FERRAREZ, 2018; SILVA FILHO et al., 2021).

O uso de geotecnologias, como geoprocessamento e sistemas de informação geográfica (SIG), têm se mostrado altamente eficientes na identificação de áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais, interferência antrópica e a dinâmica da evolução da paisagem, considerando a interface homem/natureza (SILVA; MEDEIROS, 2018; SILVA FILHO et al., 2021). Importante destacar, que o ambiente SIG permite a geração de mapas ambientais, com o uso por exemplo de ferramentas de análise multicritério. Essas ferramentas, auxiliam no processo de tomada de decisão, uma vez que permitem a avaliação de diversos critérios que contribuem, favoravelmente ou não, para uma decisão (LEAL et al., 2020). Em vista disso, *“a forma de combinação de critérios, a utilização de todos ou parte deles, a forma como alguns critérios podem compensar outros critérios, são aspectos importantes a considerar no apoio à tomada de decisão”* (FALCÃO, 2013).

A subdivisão de bacias hidrográficas em ordens menores, permite mais facilmente o levantamento das causas de degradação/alteração ambiental (PESSÔA; FAÇANHA, 2016). Comumente na Amazônia essa análise é feita para verificar as alterações na paisagem sobre os recursos hídricos em áreas densamente ocupadas (COSTA et al., 2019; FERREIRA et al., 2017). Porém, a investigação voltada para áreas susceptíveis à inundação considerando a escala de bacia hidrográficas e suas alterações ainda é incipiente.

O município de Paragominas (PA), assim como outros do estado, encontra-se dentre os que de forma recorrente tem buscado atuar para minimizar o efeito das inundações. Delimitado por duas importantes bacias hidrográficas, dos rios Capim e Gurupí, responde à dinâmica natural destas. A sede municipal recebe este processo de forma específica, pela densidade de

ocupação urbana próxima a cursos d'água, especialmente o rio Uraim, reflexo do seu histórico socioeconômico ao longo das décadas desde a sua criação.

Inicialmente, a colonização nas proximidades dos recursos hídricos se fez necessária por questões de inexistência de rodovias até o local, em que a mobilidade de mercadorias, alimentos (a agricultura familiar era a “economia mais forte”), produtos e pessoas era totalmente por navegação. Com a chegada das rodovias, em especial a Belém-Brasília (BR010), a pecuária se instalou em grande escala, considerando as condições do relevo e a existência de cursos d'água em toda a extensão paralela à referida rodovia, que possibilitavam o cultivo de pastagens de boa qualidade. Logo em sequência, desenvolveu-se a exploração madeireira e produção de grãos. Todos estes fatores resultaram em grandes extensões de cursos d'água desprovidos de Áreas de Preservação Permanente e ocupações marginais a estes, no município, levando a um forte movimento de políticas públicas que impulsionaram o reflorestamento, resultando mais tarde na intitulação de “município verde” (CALLOU, 2017).

A sub-bacia do alto curso do rio Uraim caracteriza-se como uma subunidade da macro bacia do rio Uraim, sendo sua escolha justificada por sua área de contribuição compreender toda a malha urbana do município de Paragominas, a qual anualmente sofre com processos de inundações no período de inverno amazônico. Diante do exposto, objetiva-se com este trabalho gerar um produto cartográfico com as áreas suscetíveis a inundações na sub-bacia do alto curso do rio Uraim.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a susceptibilidade a inundações da sub-bacia do alto curso do rio Uraim (Paragominas/PA), para fins de planejamento urbano.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar a sub-bacia do alto curso do rio Uraim a partir das condições físicas que influenciam no seu comportamento hidrológico;
- b) Analisar os diferentes fatores que condicionam ocorrências de inundação;
- c) Produzir como produto técnico um mapa com as classes de suscetibilidade à inundação para a sub-bacia do alto curso do rio Uraim.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Conceitos fundamentais e legislação pertinente

A Lei n. 12.608 de 2012, chamada de Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, objetiva a redução das ocorrências de desastres, a recuperação de áreas atingidas e a ordenação do uso e cobertura da terra, a fim de preservar o ambiente e a vida humana. Já no início de seu texto, a PNPDEC relata: “*É dever da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios adotar as medidas necessárias à redução dos riscos de desastres*” (BRASIL, 2012).

Com isso, é obrigatório o planejamento e ações de prevenção por meio do poder público. Ainda, a PNPDEC trata das competências da união, estados e municípios em relação à desastres. No que diz respeito aos municípios, a PNPDEC institui como uma de suas obrigações “*promover a fiscalização das áreas de risco de desastre e vedar novas ocupações nessas áreas*” (BRASIL, 2012). Assim, as regiões propícias a ocorrências de desastres e de risco devem ser monitoradas pelos municípios, que devem ainda evitar a urbanização destas e de outras áreas que possam agravar a situação (BRASIL, 2021).

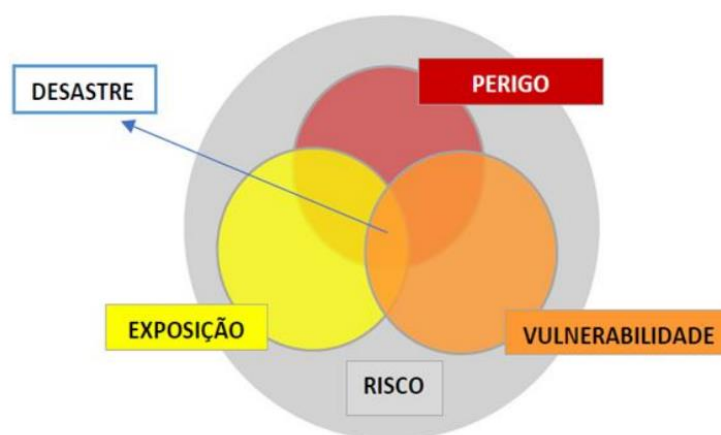
Na literatura, não há somente um conceito para as noções de risco, variando segundo a área escolhida como objeto de estudo e o autor adotado como referência. A *United Nations Office of Disaster Risk Reduction* (UNISDR) trata risco como a probabilidade de um perigo se tornar um desastre e pode ser classificado segundo sua natureza, como natural, industrial e tecnológico, social, econômicos e políticos.

Risco Natural, é um evento de longa ou curta duração proveniente das dinâmicas naturais, e não há intervenção humana, considerando o seu grau de estabilidade/instabilidade expresso na sua vulnerabilidade a eventos críticos de curta ou longa duração, tais como inundações, desabamento e aceleração de processos erosivos (OLÍMPIO; ZANELLA, 2017). Nesse sentido, a identificação de áreas propensas a inundações é um elemento crucial para qualquer estratégia de mitigação em direção ao risco de inundação (BODOQUE et al., 2019).

O mapeamento da suscetibilidade às inundações é uma atividade essencial que é considerada o primeiro passo na implementação da gestão e mitigação do risco de inundação (COSTACHE et al, 2020). Existem várias maneiras de se realizar uma análise de inundações, como suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e mapeamento de risco. A suscetibilidade a inundações é definida como o nível de vulnerabilidade a danos causados por fenômenos perigosos relacionados à água (LIUZZO; SAMMARTANO; FRENI, 2019). Enquanto perigo é o fenômeno causador de danos, fato potencial e objetivo, e a vulnerabilidade é o grau de

exposição de algo ou alguém ao perigo (VEYRET, 2007; MEDEIROS, 2014). E o risco em geral, é considerado como o produto do perigo e da vulnerabilidade (THYWISSEN, 2006) (Figura 1).

Figura 1 - Diagrama de análise da relação entre Perigo, Exposição e Vulnerabilidade com elementos de interseção do desastre.



Fonte: Silva (2022).

Importante ressaltar, que para o mapeamento de riscos e/ou suscetibilidade e/ou perigos e/ou vulnerabilidades, há diversas metodologias que variam desde o levantamento de campo com aplicação de questionários, até o uso exclusivo de geotecnologias (como este estudo), bem como a integração destes (SILVA JÚNIOR; LIMA; MORAES, 2022).

Os danos causados pelas inundações podem ser reduzidos identificando áreas suscetíveis e tomando medidas de prevenção (TEHRANYA; JONESA; SHABANIB, 2019). Portanto o mapeamento de áreas susceptíveis a inundação é um importante instrumento de gestão de risco e gestão territorial. A determinação da bacia hidrográfica como unidade de análise também está prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (BRASIL, 1997), bem como a inter-relação com a gestão de risco na prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos.

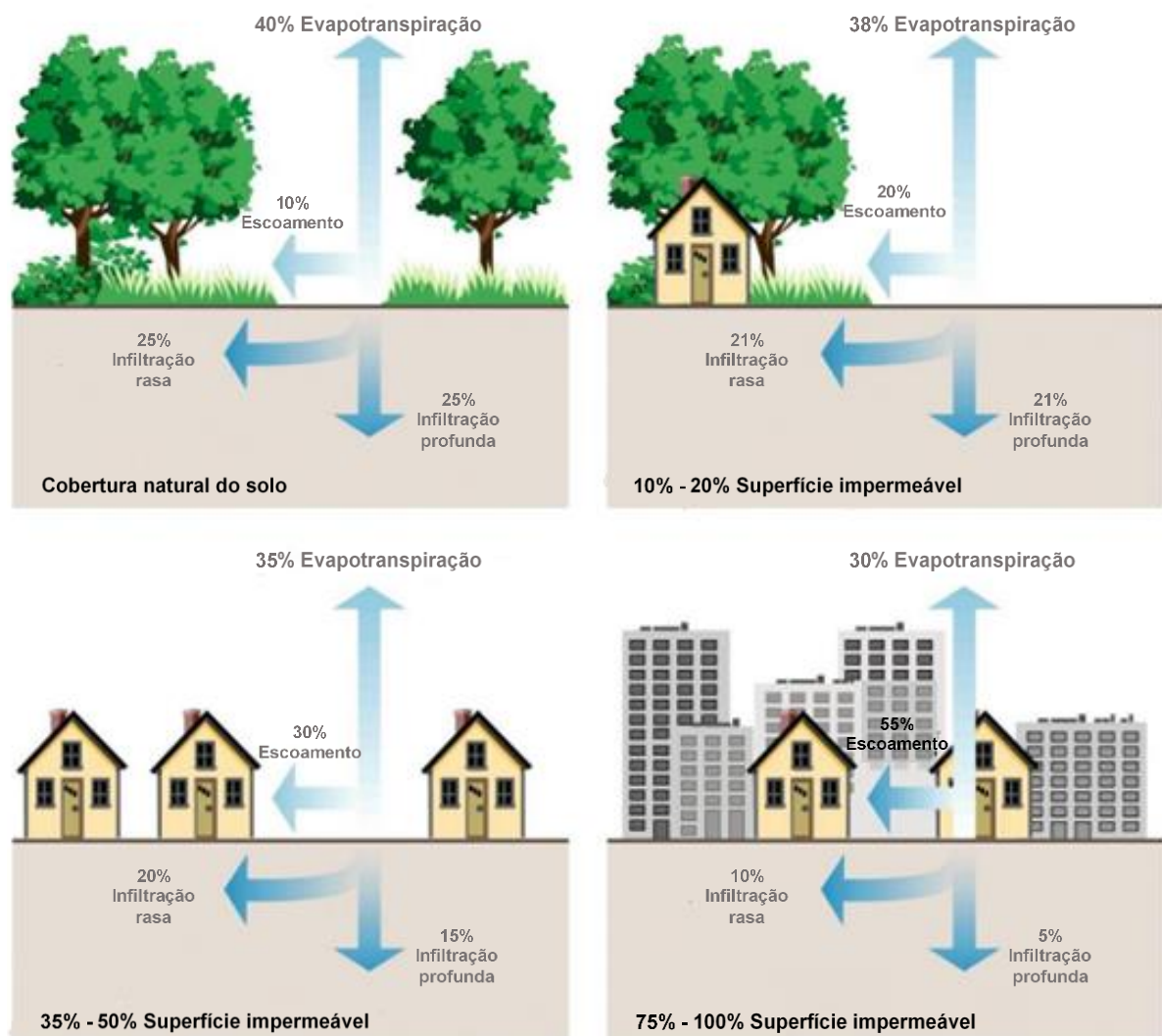
As bacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento e gestão dos recursos ambientais previstas na PNRH conta com as ações do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH. Em seu Art. 8º, institui os planos de recursos hídricos (PRH), os quais devem ser criados por bacia considerando as particularidades da região hidrográfica, sendo estes imprescindíveis para a implantação da PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1997; BERNARDI et al, 2012). O desenvolvimento de mapas de

suscetibilidade a inundações também é fundamental na gestão abrangente de bacias hidrográficas (JANIZADEH et al, 2019).

3.2 A dinâmica das águas em Bacias Hidrográficas

As propriedades bióticas e físicas de uma bacia hidrográfica têm forte influência nos processos do ciclo hidrológico, como na infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial, dentre outros (FERREIRA et al., 2015). Quando se trata de bacias urbanizadas, isto é, com extensas áreas de solo impermeabilizado, há alterações no balanço entre infiltração e escoamento, aumentando o fluxo de escoamento de água superficial que se direciona aos canais de drenagem (Figura 2).

Figura 2 - A influência da urbanização em diferentes etapas do ciclo da água.



Fonte: World Meteorological Organization (2008).

Nesse sentido, há um considerável aumento do escoamento superficial, gerando maior suscetibilidade a inundações, visto que o escoamento superficial, “somado” às características de forma da bacia, contribui para a acelerada elevação da vazão fluvial em eventos de chuva (CAJAZEIRO, 2012). Portanto, estudos das características de bacias hidrográficas fornecem subsídios para a tomada de decisões estratégicas e elaboração de planos para o seu manejo e urbanização adequados, a fim de promover a sustentabilidade na bacia, o melhor funcionamento do ciclo hidrológico, e a espacialização de áreas seguras para habitação.

Segundo Tucci e Mendes (2006) “*as características principais da bacia hidrográfica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, declividade do rio e a declividade da bacia*”. De modo geral, há concordância pela maioria dos autores sobre as características que influenciam o comportamento das bacias hidrográficas, principalmente no que se relaciona aos aspectos geomorfológicos como: forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem e o solo. Além desses, outro fator preponderante é a cobertura vegetal (CARVALHO et al., 2012)

A forma tem influência direta no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, como por exemplo, sobre o tempo de concentração (T_c), tempo este necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle, a partir do início da precipitação. No entanto, existem vários índices utilizados para se determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas: o coeficiente de compactidade (K_c), que é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia; e o fator de forma (K_f), que é a razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (CARVALHO et al., 2012).

As bacias hidrográficas são áreas de drenagem da água, proveniente da precipitação pluvial e da contribuição subterrânea, a qual direciona para um único ponto de saída, de cota mais baixa, denominado exutório/foz (BRAGA et al, 2005; AZEVEDO; BARBOSA, 2011; TUCCI, 2014; RHODEN et al., 2016). As bacias hidrográficas são compostas por afluentes, sendo estes os responsáveis por conduzirem a água precipitada até o rio principal (maior limite de curso d'água que conecta uma nascente ao exutório), os quais formam uma rede de drenagem, interligados hierarquicamente (BERNARDI et al., 2012; TUCCI, 2014; PESSÔA; FAÇANHA, 2016).

A partir do momento que a água drenada pelo rio principal de uma bacia hidrográfica passa pelo exutório, esta passa a ser parte da rede de drenagem de outra bacia de ordem hierárquica superior, constituindo-se uma relação bacia hidrográfica/sub-bacia (PESSÔA; FAÇANHA, 2016). Diante disso, entende-se que os limites de uma bacia hidrográfica são formados por divisores de água, ou seja, pelas cotas topográficas mais altas no terreno, onde

ocorre a separação da água precipitada em distintas bacias hidrográficas (BERNARDI et al, 2012).

As cheias ocorrem naturalmente em decorrência da sazonalidade hidrológica, podendo ter variações na forma das enchentes e enxurradas pela influência da maior permanência do período chuvoso ou de chuvas rápidas, mas com elevada intensidade (PEREIRA; CRISTO, 2018). De acordo com Tominaga et al. (2009), a inundação representa o transbordamento das águas que atingem a planície de inundação ou área de várzea; e as enxurradas são caracterizadas pelo transporte de águas e sedimentos (às vezes fragmentos de rocha) em geral intensificado pela gravidade, em área de maior declividade. Ambos ocorrem quando as precipitações ultrapassam a capacidade de vazão dos rios, gerando a transposição dos leitos e o deslocamento de um volume expressivo de água (PEREIRA; CRISTO, 2018).

Além do termo inundação, existem outros conceitos que estão relacionados ao tema, principalmente em áreas urbanas, tais como, enchentes e alagamentos. De acordo com Jorge, Teixeira e Fonseca (2013), a enchente é o aumento do nível da água no canal de drenagem, devido ao aumento da vazão, porém sem extravasar. Em contrapartida, o alagamento está relacionado ao sistema de drenagem e ocorre por conta do acúmulo de água.

3.3 Análise Multicritério Espacial

O método multicritério aplica-se em diferentes áreas do conhecimento na agregação de indicadores, objetivando o auxílio à decisão, levando-se em consideração, por exemplo, aspectos econômicos, sociais e ambientais (CASTRO, 2007). Para a realização de uma análise global, são necessários métodos baseados na otimização do resultado de um grupo de funções, devido ao conflito de interesses e diferentes pontos de vista de múltiplos decisores. Dentre os métodos de apoio à decisão multicritério, que são recomendados de acordo com as condições encontradas no ambiente da tomada decisão, destaca-se o método AHP (Processo de Análise Hierárquica), o qual tem como finalidade hierarquizar objetivos ou critérios em conformidade com a(s) preferência(s) do decisor(es) (TORRES, 2014).

A literatura apresenta vários métodos para combinar ou sintetizar critérios, de acordo com uma determinada regra de decisão, entre os quais: Booleano, Combinação Linear Ponderada (CLP) ou Weighted Linear Combination (WLC) e Média Ponderada Ordenada (MPO) ou Ordered Weighted Average (OWA) (EASTMAN, 2003). Em análise multicritério, dentro de processos de tomada de decisão espacial, Vettorazzi (2006) considera a Combinação Linear Ponderada e a Média Ponderada Ordenada, as melhores alternativas. Mais recentemente,

Santos, Costa e Gomes (2021), apresentam uma nova forma de avaliar os multicritérios, denominando o processo como AHP Gaussiano.

O modo de se quantificar a importância relativa de cada um dos critérios, é uma das grandes dificuldades muitas vezes encontradas em um processo de apoio à decisão que envolve múltiplos critérios, além do fato de cada um deles possuir graus de importância variáveis para diferentes atores envolvidos no processo decisório (VETTORIZZI, 2006). Segundo Malczewski (2000), alguns métodos de atribuição de pesos a fatores empregados no meio científico são os que se baseiam: no ordenamento de critérios; em escalas de pontos; na distribuição de pontos; e em comparação pareada ou par a par.

O AHP Gaussiano, diferentemente do método tradicional proposto por Saaty, não faz uso da comparação pareada para atribuição de pesos aos critérios, este se fundamenta em uma análise de sensibilidade a partir do fator Gaussiano. Cada critério, tem seu peso obtido a partir dos *inputs* quantitativos das alternativas em seus respectivos atributos, considerando os dados inseridos na matriz de decisão (SANTOS; COSTA; GOMES, 2021).

“O método visa acabar com a dependência que existe da matriz de avaliação entre os critérios, eliminando a necessidade de avaliação par a par entre os atributos na obtenção dos seus respectivos pesos, onde os cálculos incluem a média e o desvio padrão para a alcance da ordenação das alternativas. O AHP-Gaussiano pertence aos métodos compensatórios, os atributos são independentes e os atributos qualitativos são convertidos em atributos quantitativos.” (LIMA et al., 2021).

Nesse sentido, dado os diversos fatores condicionantes de inundações, de caráter qualitativos e quantitativos, abordados neste estudo, o método AHP Gaussiano mostrou-se aplicável, considerando especialmente a independência entre os fatores/alternativas e a não necessidade de análise pareada, além do teor inovador na área de ciências ambientais e geotecnologias, tendo em vista que não foram encontradas na literatura aplicações dentro dessas áreas.

3.4 Fatores Condicionantes de Inundação

A aplicação de Análise Multicritério e SIGs, de forma integrada, tem sido bem positiva em estudos de mapeamento de suscetibilidade a inundações, delineamento de zonas de terra firme e planícies fluviais, riscos naturais de modo geral e estudos geoambientais (MAHMOUD; GAN, 2018). Uma variedade de dados geoespaciais, de diferentes fontes, foram utilizados neste estudo objetivando obter-se o produto técnico cartográfico de suscetibilidade à inundação na sub-bacia do alto curso do rio Uraim.

Nesse sentido, “Fatores condicionantes” referem-se às variáveis, geralmente geomorfológicas, hidrológicas e geológicas, que influenciam na ocorrência de cenários de inundação, sendo que cada uma atua de forma diferente e cumulativa (TEHRANYA; JONESA; SHABANIB, 2019). Os Fatores selecionados para estudo foram: hipsometria, declividade, índice de potência de escoamento (SPI), índice topográfico de umidade (TWI), fluxo acumulado, *Height above the Nearest Drainage* (HAND), geomorfologia, solos, uso e cobertura da terra, distância do rio e precipitação.

A precipitação é o principal fator para a ocorrência de inundações em quaisquer condições ambientais, entretanto, se considerar este fator isoladamente, não é possível determinar com exatidão o quão um alto índice pluviométrico pode ocasionar um processo de inundação, uma vez que este processo é produto de inúmeros fatores (DAS, 2019). Uma grande variedade de estudos anteriores estabelece a relação entre a precipitação e a ocorrência de inundações em uma bacia (CHAPI et al., 2017; LIUZZO; SAMMARTANO; FRENI, 2019; JANIZADEH et al., 2019; DAS, 2019; DAS; GUPTA, 2021).

A hipsometria e a declividade são dois fatores que influenciam a suscetibilidade de qualquer área a inundações, se destacando como imprescindíveis nos estudos. De acordo com Dahri e Abida (2017) e Mahmoud e Gan (2018), as áreas suscetíveis a inundações tendem a ter declividades superficiais baixas e localizadas em zonas de baixa elevação. Ainda segundo os autores, a água escoar continuamente das elevações mais altas para as áreas mais baixas e planas, podendo inundar mais rapidamente do que áreas de maior elevação.

A declividade está fortemente relacionada com a regulação do escoamento de água para a jusante de uma bacia hidrográfica, isto é, quanto maior o grau de inclinação, maior será o escoamento relacionado à precipitação (MOJADDADI et al., 2017). Por outro lado, quanto menor o grau, menor o escoamento superficial, e maior acúmulo de fluxo, potencializando os processos de inundação (DAS, 2019).

As áreas que apresentam maior acúmulo de fluxo, tendem a ser mais suscetíveis a inundações, pois atuam como pontos convergentes para o escoamento superficial. Em termos práticos, a acumulação de fluxo em uma área de estudo significa o acúmulo de fluxo das células (pixels) “vizinhas”, ocasionando no aumento do fluxo em uma célula específica, mapeando, desse modo, a zona de convergência do escoamento superficial (MAHMOUD; GAN, 2018).

Um fator que interage fortemente nesse contexto de fluxo de escoamento é o solo, uma vez que a textura do solo, seu grau de permeabilidade e estrutura influencia diretamente nas condições de infiltração da água no terreno (MOJADDADI et al., 2017). Solos que apresentam textura fina em sua composição apresentam menor potencial de infiltração, e consequente maior

escoamento superficial. Nesse sentido, as áreas que dispõem de solos de textura fina (ricos em silte e argila), têm maior potencial de inundação, em relação às áreas que apresentam solos de textura grossa, como areia (DAS; GUPTA, 2021).

O índice de potência de escoamento (SPI) é extremamente importante para muitos processos no ambiente fluvial (DAS, 2019). De acordo com Hong et al. (2018), este índice pode ser definido como um desempenho significativo da erosão do canal do córrego e transporte de sedimentos, sendo amplamente utilizado na maioria dos estudos de inundação (MOORE; GRAYSON; LADSON, 1991). Já o índice de umidade topográfica (TWI), é uma representação física das áreas de inundação, isto é, indica o fluxo de escoamento da água considerando a força gravitacional (CHAVES et al., 2021; DAS, 2019). De acordo com esses autores, existe uma forte relação entre a geomorfologia e o TWI de uma área, isto é, nas áreas de planícies fluviais os valores de TWI são geralmente os mais elevados.

A geomorfologia de uma região tem importância significativa nos processos de inundações. De acordo com Slater, Singer e Kirchner (2015) e Das e Gupta (2021), as regiões localizadas em planícies de inundação são mais suscetíveis a inundações em comparação com as regiões montanhosas. Ross e Fierz (2017) destacam que essas planícies são áreas de fragilidade ambiental muito forte, devido a ocorrência de inundações intermitentes ou perenes. Neste estudo, para o *input* deste Fator, foram consideradas os “*elementos de terreno*”, descritos por Gouveia e Ross (2019) como “*Geomorphons*” (SILVEIRA et al., 2018), que se caracteriza como um indicador obtido pela reclassificação ao nível das menores unidades descritoras do relevo (formas dos topos, vales, encostas) em uma dada região, a partir da geometria mapeada utilizando como base o modelo digital de elevação.

O fator HAND, *Height above the Nearest Drainage* é definido a partir da altura média de cota de inundação e tem como base a rede de drenagem. Este é calculado a partir dos limites topográficos identificados pelo modelo digital de elevação; difere-se da estratégia do “*buffer*”, por não configurar simplesmente linhas equidistantes de um centro; no seu delineamento, as cotas topográficas identificadas pelo MDT definem uma maior ou menor distância do ponto central. De acordo com Nobre et al. (2011) e Momo et al. (2016), o modelo HAND, utilizando como referência a altura relativa da drenagem mais próxima, representa uma realidade geométrica da superfície, isto é, o potencial relativo normalizado para inundação da bacia.

A abrangência de uma ocorrência de inundação depende da distância de um determinado local da rede de drenagem (DAS; GAUP, 2021). Segundo Mahmoud e Gan (2018), áreas localizadas próximas à rede de drenagem, geralmente sofrem inundações mais severas do que áreas distantes, pois as localidades próximas estão dentro do fluxo de escoamento superficial,

comumente na planície fluvial. Muitos autores afirmam que a distância do rio em relação à suscetibilidade às inundações pode ser subjetiva, recomendando-se que se baseie em registros históricos. Autores como Pradhan (2010), Samanta et al. (2016), Mahmoud e Gan (2018) e Das (2019), consideraram áreas dentro de um raio de 100 m da rede de drenagem, como tendo alta suscetibilidade a inundações, enquanto áreas com distâncias superiores a 2000 m, com muito baixa suscetibilidade.

As formas de uso e cobertura da terra, atreladas às suas dinâmicas, considerando a evolução temporal, também estão estritamente associadas com as causas dos processos de inundações (BECKERS et al., 2013; DAS; GUPTA, 2021). Mojaddadi et al. (2017) e Das e Gupta (2021) afirmam que áreas com alta densidade de vegetação são geralmente menos suscetíveis a inundações. Por outro lado, ainda segundo os autores, as superfícies impermeabilizadas por edificações e pavimentos nas áreas urbanas, dificultam o processo de infiltração, potencializam o escoamento superficial e consequentemente aumentam a suscetibilidade à inundação.

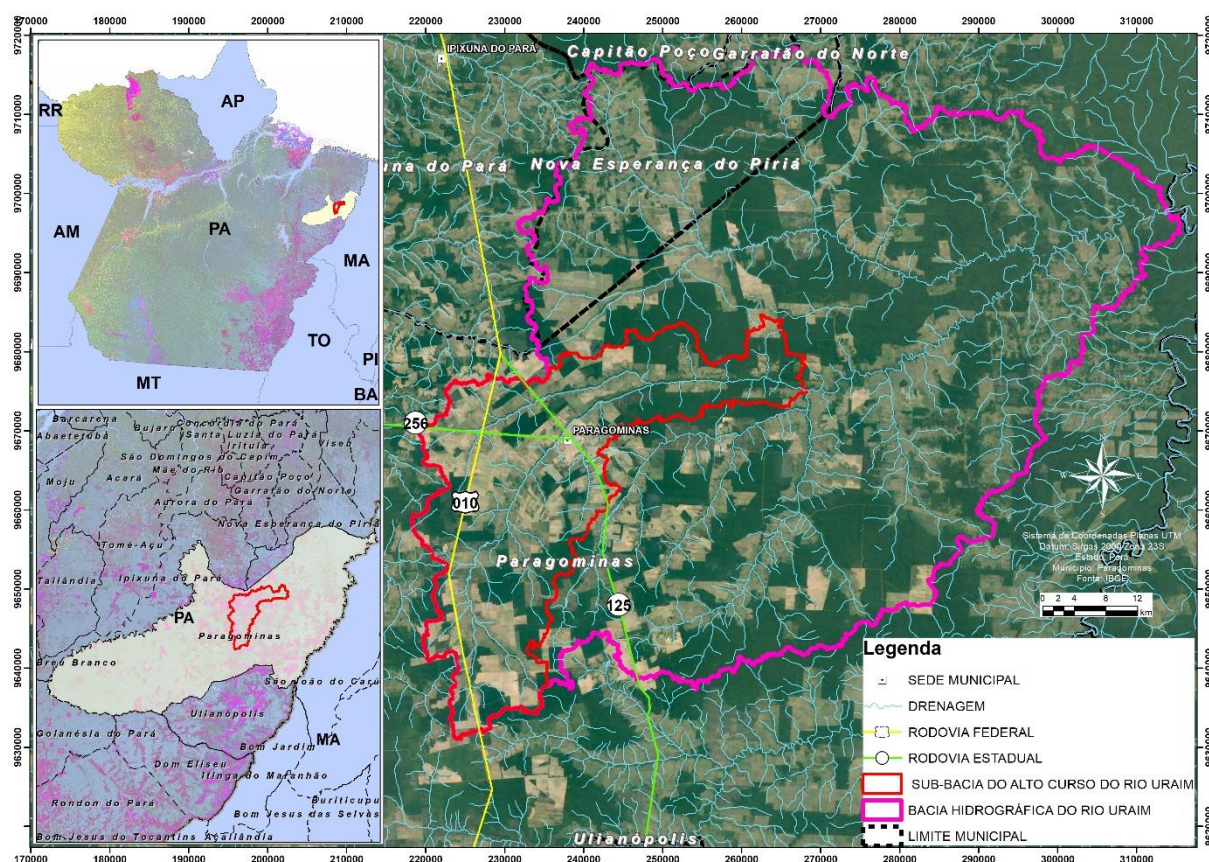
4 METODOLOGIA

4.1 Localização da área de estudo

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do rio Uraim, adotando-se a compartimentação do Alto Uraim (sub-bacia do alto curso do rio Uraim - SBAU), de modo a abranger enfaticamente a porção urbanizada do município de Paragominas, estado do Pará (Figura 3). Ressalta-se que, esta compartimentação é justificada pela densidade demográfica do referido município estar concentrada no alto curso do rio Uraim, onde destacam-se ocorrências anuais de casos de desastres naturais pelas cheias do rio, inundando áreas habitadas.

A sub-bacia em estudo é cortada pela principal rodovia de acesso à região norte do país, BR-010. A área da SBAU é de aproximadamente 1004,03 km², seu curso d'água principal (Rio Uraim) possui 95,45 km de extensão e, sua foz é definida na confluência com o igarapé do Sete, sendo este último o limiar, dentre as sub-bacias do rio Uraim, da presença de núcleos populacionais.

Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do rio Uraim e sua divisão no Alto Uraim.



Fonte: Autor.

4.2 Aspectos Hidroclimáticos

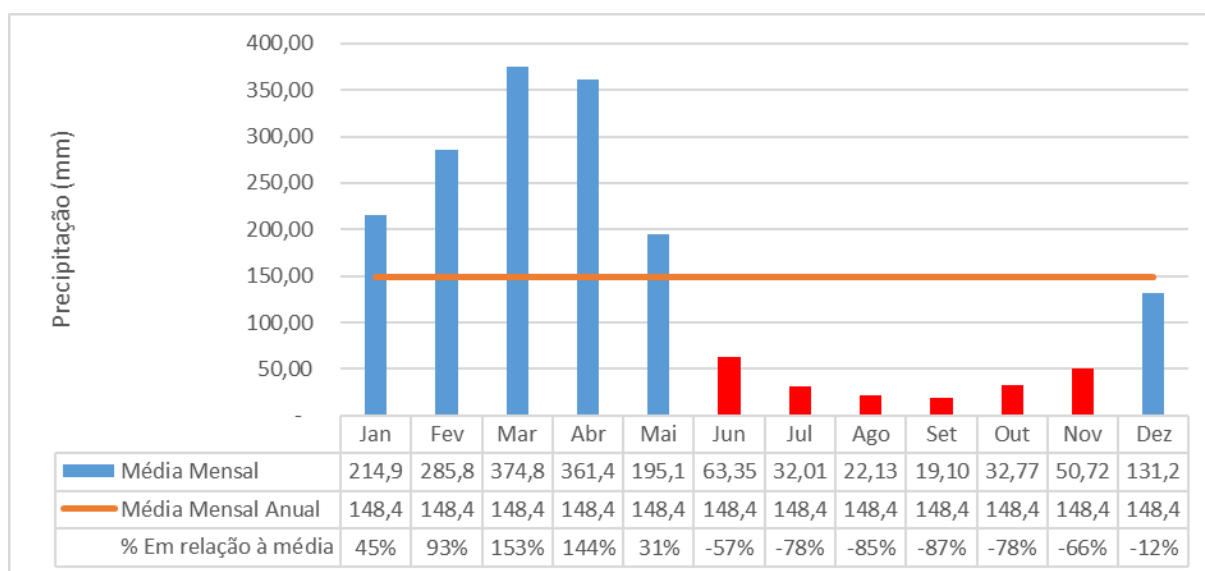
4.2.1 Clima

O clima do município de Paragominas/PA, segundo a classificação de Köppen, é identificado como sendo do tipo A (tropical chuvoso, sem inverno, megatérmico com temperatura média do mês mais frio superior a 18°C, estação invernal ausente e forte precipitação anual), pertence à categoria climática do tipo Aw, corresponde ao subclima tropical seco e úmido, em que os períodos sazonais são bem definidos, podendo durar de 4 a 6 meses (ALVARES et al., 2013).

A distribuição de chuva na região é definida pelo período chuvoso, que vai do mês de dezembro até maio, com precipitações acima de 370 mm, com máximas precipitações nos meses de fevereiro, março e abril (trimestre chuvoso). Enquanto, o período menos chuvoso estende-se de junho a novembro com valores mínimos registrados no mês de setembro, ficando abaixo de 19,1 mm (Figura 4) (ANA, 2022).

Para o desenvolvimento desta análise, foram utilizados dados climatológicos de precipitação obtidos da estação Paragominas-PA 347000 (Lat.: -3,01; Long.: -47,34), operada pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Figura 4 - Média da Precipitação Pluviométrica do município de Paragominas, referente ao período de 2000 a 2020



Fonte: ANA (2022).

identificados como principais afluentes: o igarapé Estiloso, o igarapé Cinquenta e Quatro e o igarapé Paragominas.

Importante destacar, que a bacia hidrográfica do rio Uraim compõe o segmento do médio curso da bacia hidrográfica do rio Gurupí. A bacia do rio Gurupí, por sua vez, no contexto de hidrografia do Estado do Pará, conforme divisão estadual proposta pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (SEMA, 2012), está localizada na Região Hidrográfica Costa Atlântica-Nordeste e Sub-região Gurupí, onde, após percorrer mais de 400 km, constituindo-se o limite interestadual Pará-Maranhão, deságua no oceano Atlântico, através da baía de Gurupi.

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Obtenção de Dados

O presente estudo foi sistematizado em etapas. Inicialmente, a partir do banco de dados espaciais da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS/PA), foram extraídas das bases de bacias Ottocodificadas e de rede de drenagem, os limites da área de estudo. Imagens Planet datadas de ago/set/2020 (período de menor nebulosidade), disponibilizadas ortorretificadas, com 3 metros de resolução espacial, 4 bandas multiespectrais e em 16 bits foram utilizadas como subsídio à classificação dos diferentes usos e coberturas da terra na área de estudo.

A partir de imagens raster, SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), em formato GEOTIFF (16 bits), obtidos da plataforma digital OpenTopography, coleção “*Copernicus Global Digital Elevation Models*”, com resolução espacial de 30 metros e sistema de coordenadas geográfica Datum WGS-84, foi possível gerar as camadas temáticas derivadas do Modelo Digital de Elevação (MDE). Para a obtenção dos tipos de solo, foi feita a vetorização do “Mapa de solos do município de Paragominas- Estado do Pará” (RODRIGUES et al., 2003).

4.3.2 Sistema de Informações Geográficas

O Sistema de Informações Geográficas utilizado para o tratamento dos dados foi o software QGIS versão 3.16, o qual apresenta grande capacidade de integração de informações em uma só estrutura, tais como dados vetoriais (limites da área de estudo, rede de drenagem, tipos de uso e cobertura da terra, tipos de solo etc.), dados matriciais ou raster e dados tabulares (tabelas). Todos os mapas foram gerados no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando o Datum SIRGAS 2000, Zona 23S.

4.3.2.1 Análise Morfométrica

As análises morfométricas da Bacia do Alto Uraim foram feitas a partir dos dados disponíveis nas características físicas. Isto é, a partir da delimitação física considerando os limites dos divisores de água, altimetria (MDE) e da rede de drenagem da bacia. Foram calculadas as variáveis de forma (área, perímetro, fator de forma, índice de circularidade, coeficiente de compacidade), relevo (altitude mínima, máxima e média, declividade mínima, máxima e média e índices de sinuosidade e rugosidade) e drenagem (comprimento total dos canais e densidade de drenagem).

Após o levantamento das variáveis físicas no ambiente SIG, através do uso de equações, foram obtidos os resultados dos parâmetros morfométricos (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição dos parâmetros morfométricos e seus respectivos métodos de obtenção.

Parâmetros	Equação	Descrição	Fonte	Unidade
Geometria da bacia				
Fator de forma (F)	$F = \frac{A}{L^2}$	A = Área da bacia (km ²) L = Comprimento da bacia (km)	Horton (1932)	-
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = 12,57x \frac{A}{P^2}$	A = Área da bacia (km ²) P = Perímetro (km)	Strahler (1957)	-
Coeficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28x \frac{P}{\sqrt{A}}$	P = Perímetro (km) A = Área da bacia (km ²)	Vilela e Matos (1975)	-
Rede de drenagem				
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Lt = Comprimento total de todos os canais de drenagem (km) A = Área da bacia (km ²)	Horton (1932)	km/km ²
Ordem da bacia	-	Rank hierárquico	Strahler (1957)	-
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = \frac{Lp}{dv}$	Lp = Comprimento do canal principal (m) dv = distância vetorial entre os extremos do canal principal (m)	Horton (1945)	-
Relevo				
Índice de rugosidade (Ir)	$Ir = HmxDd$	Hm = Amplitude Altimétrica (m) Dd = Densidade de drenagem	Strahler (1958)	-
Amplitude altimétrica (Hm)	$Hm = P. Max - P. Min$	P. Max = Altitude máxima da bacia (m) P. Min = Altitude mínima da bacia (m)	Strahler (1952)	m

Fonte: Adaptado de Silva Filho et al. (2021).

As características geométricas da bacia hidrográfica revelam o comportamento da água em relação ao armazenamento e escoamento superficial (GAIA-GOMES, 2018). O coeficiente de compacidade (Kc), consiste na relação entre o perímetro e a área de drenagem da bacia em questão (VILLELA; MATTOS, 1975). Alves e Castro (2003) classificam as bacias em função

do K_c da seguinte forma: $1,00 > K_c < 1,25$ (bacias com alta propensão a enchentes); $1,25 > K_c < 1,50$ (bacias com média propensão a enchentes) e $K_c > 1,50$ (bacias não sujeitas a enchentes). Alves e Castro (2003) também classificaram as bacias hidrográficas em função de F , como segue: $F > 0,75$ (bacia sujeita a enchentes); $0,50 > F < 0,75$ (bacia com propensão média a enchentes) e $F < 0,50$ (bacia não sujeita a enchentes). Villela e Matos (1975) e Alves e Castro (2003) concordam que valores próximos a 1 indicam que a bacia apresenta geometria circular, o que representa maior possibilidade de enchentes.

A densidade de drenagem (D_d) representa o grau de dissecação topográfica em paisagens criadas pela atividade fluvial ou expressa o número de canais disponíveis para o fluxo e controle exercido por estruturas geológicas (SOUSA; RODRIGUES, 2012). Villela e Mattos (1975) classificaram os valores de D_d em qualificações: baixa – $D_d < 0,5 \text{ km/km}^2$; média – $0,5 < D_d < 2 \text{ km/km}^2$; alta – $2 > D_d < 3,5 \text{ km/km}^2$; e muito alta – $D_d > 3,5$.

O Índice de Sinuosidade (I_s) controla a velocidade do escoamento superficial. Quanto maior a sinuosidade dos trechos de drenagem, mais difícil é o escoamento de água para o exutório da bacia, devido à diminuição da velocidade do escoamento (SILVA; MEDEIROS, 2018). Horton (1945) estabeleceu que valores de I_s próximos a 1, são característicos de canais de drenagem com tendência retilínea, enquanto valores acima de 2 representam canais sinuosos. Valores intermediários, indicam formas transicionais.

As condições de relevo descrevem diferentes composições da paisagem, onde ocorrem fluxo de material na superfície, infiltração, lixiviação e fluxo de material em profundidade (TEODORO et al., 2007). Dentre as condições, a altitude interfere na quantidade de radiação, evapotranspiração, temperatura e precipitação das bacias hidrográficas (GONÇALVES et al., 2015). Já a declividade, está associada à cobertura vegetal e ao tipo de uso e cobertura da terra, sendo estes importantes na regulação da velocidade do escoamento superficial (ALMEIDA, 2017). Nesse contexto, as condições de declividade influenciam diretamente no tempo de concentração, isto é, o tempo necessário para as águas pluviais escoarem e se concentrarem nos canais da bacia (VILLELLA; MATTOS, 1975).

O Índice de Rugosidade está relacionado com a infiltração e o escoamento superficial, sendo estes condicionados a forma de relevo preponderante (SILVA FILHO et al., 2021). De acordo com Almeida (2017), valores mais elevados indicam bom escoamento superficial, enquanto baixos valores indicam boas condições de infiltração. Sousa e Rodrigues (2012) classificaram o I_r da seguinte forma: I_r fraco - de 0 a 150 (relevo plano); I_r médio - de 151 a 550 (relevo suave ondulado); I_r forte – de 551 a 950 (relevo ondulado); e I_r muito forte – maior que 950 (relevo forte ondulado a montanhoso, a escarpado).

4.3.2.2 Uso e Cobertura da Terra

O mapa de uso e cobertura da terra, relacionado à como a superfície terrestre está sendo usada e ocupada espacialmente pelos seres humanos, foi elaborado a partir da utilização de imagens Planet, datadas de ago/set/2020 (período de menor nebulosidade), disponibilizadas ortorretificadas, com 3 metros de resolução espacial, 4 bandas multiespectrais e em 16 bits. Foram usados como procedimento a delimitação e classificação das diferentes classes, adotando-se uma classificação supervisionada, tendo como referência para definição/descrição das classes, o arquivo vetorial com as classificações propostas por Coutinho et al. (2013), do Projeto TerraClass. Em seguida, foram reclassificadas visando atender os objetivos do trabalho, seguindo os critérios de classificação (Quadro 2).

Quadro 2 - Descrição das classes de uso e cobertura da terra.

Classes	Descrição
Área edificada	Manchas urbanas decorrente de concentração populacional humana.
Vegetação primária	Cobertura florestal com dossel dominante.
Hidrografia	Águas superficiais.
Pasto	Estrato arbustivo, estrato herbáceo e regeneração da vegetação nativa em estado inicial após corte raso da vegetação natural e desenvolvimento de atividade agropastoril.
Plantio	Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de grãos, com emprego de padrões tecnológicos elevados, tais como uso de sementes certificadas, insumos, defensivos e mecanização, entre outros.
Vegetação secundária	Áreas de regeneração avançada da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente.
Solo Exposto	Áreas que apresentam a superfície do solo livre de qualquer cobertura, seja natural ou por intervenção antrópica.

Fonte: Adaptado de Coutinho et al. (2013).

4.3.2.3 Cobertura de solos

Para a elaboração do mapa de cobertura de solos, relacionado à pedologia, foi utilizada a base do município de Paragominas disponibilizado pela EMBRAPA, na escala de 1:250.000 (RODRIGUES et al., 2003). Este foi vetorizado para a escala de trabalho e reclassificado para atender aos objetivos do trabalho.

4.3.2.4 Fatores derivados do Modelo Digital de Elevação

A partir do MDE, dentro do ambiente SIG, foram obtidos a distribuição da Hipsometria, as classes de Declividade, o Índice de Potência de Escoamento (SPI), o Índice Topográfico de Umidade (TWI), o Fluxo acumulado, o indicador *Geomorphons* e as classes derivadas do parâmetro HAND. Para a realização das análises de Hipsometria e Declividade foram utilizados os dados topográficos de alta resolução, gerados pela missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30m.

A Hipsometria e a distribuição das classes de Declividade foram obtidas automaticamente em ambiente SIG, por meio das análises de distribuição espacial dos limites topográficos obtidos pelo MDE. Os índices SPI (1) e TWI (2), também efetuados em SIG, consideraram as formulações indicadas no QGis versão 3.16:

$$SPI = \alpha \tan \beta \quad (1)$$

$$TWI = \ln \frac{\alpha}{\beta} \quad (2)$$

Em que: SPI é o Índice de Potência de Escoamento; TWI é o Índice Topográfico de Umidade; α é a área da bacia (m²); e β é o gradiente de inclinação (em graus).

O Fator Fluxo Acumulado considera as variáveis “*direção de fluxo*” e “*fluxo acumulado*”; basicamente este calcula, a partir do MDE, quais as direções preferenciais de acumulação do fluxo. O Fator *Geomorphons* define por meio de rastreamento da geometria do terreno as principais formas, tendo sido destacadas: áreas planas, picos, cristas, patamares, crista secundária, encosta, depressão, vales, base de encosta e superfície erosiva (STEPINSKI; JASIEWICZ, 2011; JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013). Para efeitos de adensamento de classes, foi utilizada a metodologia proposta por Gouveia e Ross (2019), obtendo-se apenas 04 classes: Planícies de Inundação ou Planícies Alveolares, Topos, Vertentes convexas e Plano-convexas, e Vertentes côncavas e Plano-côncava.

Quadro 3 - Agrupamento das classes de relevo

Classe	Geomorphons
Topos	Picos, cristas, patamares e cristas secundárias
Vertentes convexas e plano-convexas	Encostas
Vertentes côncavas e plano-côncavas	Bases das encostas e superfície erosiva
Planície Fluvial	Depressões e vales

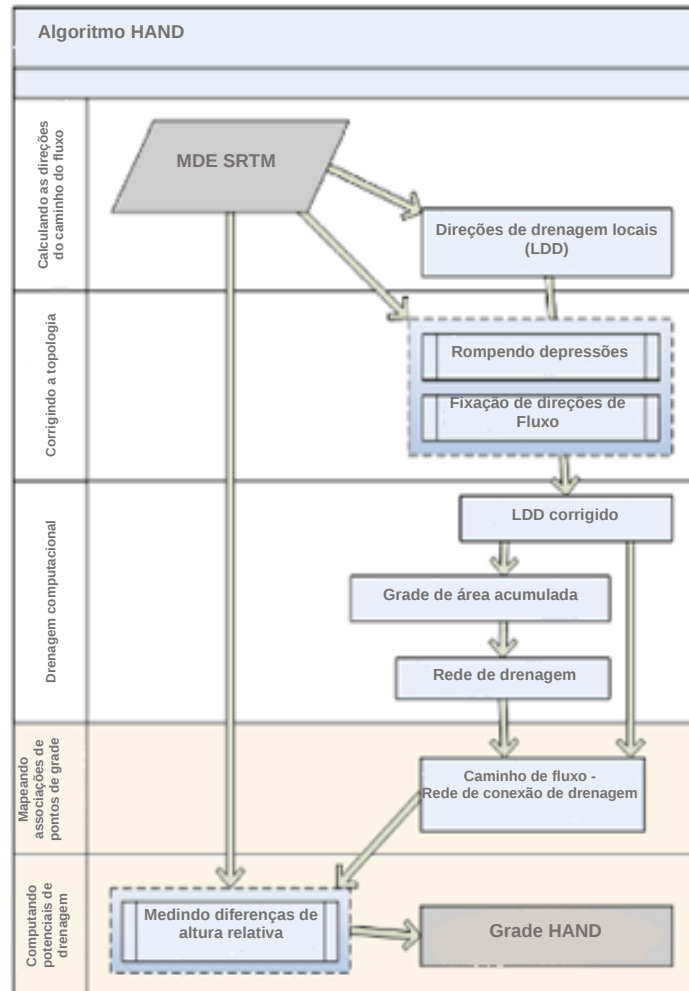
Fonte: Adaptado de Gouveia e Ross (2019).

O modelo HAND foi gerado dentro do ambiente SIG, utilizando o software HAND MODEL (NOBRE et al., 2011; BRASIL, 2022), consistindo na utilização da imagem SRTM para geração do MDT, extração da rede de drenagem, correção e então a topologia HAND (Figura 6). Neste processo é considerado como direção do fluxo, a partir do MDE, o cálculo da diferença de cota entre as células, sempre direcionando para os pontos mais baixos. Os valores acumulados da direção do fluxo passam a configurar a rede de escoamento, traduzida como a rede de drenagem. De posse da altimetria (MDT), direção de escoamento e fluxo acumulado, é gerado um novo MDT (topologia HAND), normalizado, isto é, ajustando os valores de altimetria referenciados topograficamente com a rede de drenagem.

Na Figura 7, é apresentado um exemplo do procedimento HAND dentro do ambiente SIG, de acordo com Rennó et al (2008). Na rede de direção do escoamento definida (LDD),

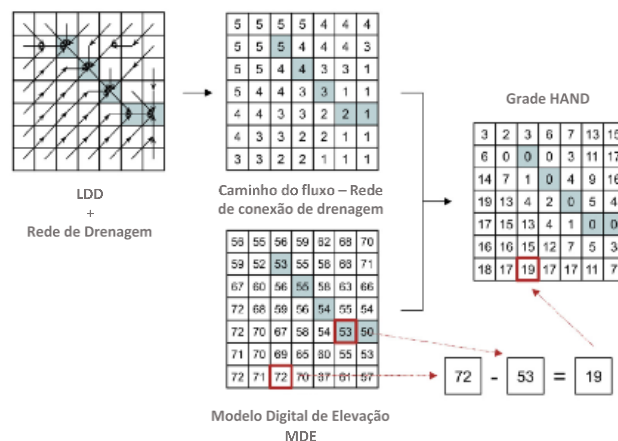
sobreposta à rede de drenagem computada, são marcados os pontos de variação de nível d'água. Uma cota de 72 m, conectada a base da drenagem de 53 m, resultando em um HAND de 19 m (variação de nível).

Figura 6 - Etapas de processamento para o HAND.



Fonte: Rennó et al. (2008).

Figura 7 - Procedimento para calcular a grade HAND. As células azuis representam pontos de grade pertencentes à rede de drenagem. Apenas as setas são consideradas como caminhos de fluxo.



Fonte: Rennó et al. (2008).

4.3.2.5 Distância da rede de drenagem

Esse fator foi gerado a partir do vetor de rede de drenagem disponibilizado no banco de dados geoespaciais da SEMAS/PA usando a ferramenta de “*distância euclidiana*”, dentro do ambiente SIG. Este fator é contínuo e varia de zero ao ponto mais distante, ou seja, quanto mais próximo dos rios o valor atribuído ao pixel é próximo de zero.

4.3.2.6 Distribuição da precipitação pluviométrica

Na definição da distribuição da precipitação pluviométrica na região foram utilizados os dados de pluviométricos de 10 (dez) estações de domínio da Agência Nacional de Águas, na plataforma Hidroweb (Quadro 4), admitindo as médias anuais da precipitação acumulada, em cada estação, para o período de 2000 a 2020.

As estações foram selecionadas obedecendo os seguintes critérios (FERREIRA FILHO et al., 2019): estações localizadas no interior da bacia hidrográfica e externas à bacia, pertencentes a mesma região hidrográfica; e disponibilidade de série histórica com ausência de falhas no período considerado (20 anos). Os valores médios de precipitação anual acumulada foram especializados e interpolados pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW).

Quadro 4 - Relação das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Estação	Localidade	Coordenadas	
		Lat	Long
1. 347000 - Paragominas	Paragominas/PA	-3,01	-47,34
2. 247004 - Fazenda São Raimundo	Ipixuna do Pará/PA	-2,43	-47,52
3. 247006 - PA256/Rio Capim	Ipixuna do Pará/PA	-2,95	-47,81
4. 248006 - PA256/Rio Acara-Mirim	Tomé-Açu/PA	-2,78	-48,35
5. 348001 - Fazenda Maringa	São Domingos do Capim/PA	-3,15	-48,09
6. 347002 - Fazenda Planalto	Paragominas/PA	-3,45	-47,47
7. 347001 - Gurupizinho	Paragominas/PA	-3,74	-47,50
8. 346001 - Fazenda Rural Zebu	Paragominas/PA	-3,33	-46,87
9. 146008 - Alto Bonito	Viseu/PA	-1,82	-46,34
10. 245001 - Alto Turi	Monção/MA	-2,95	-45,66

Fonte: Autor.

4.3.3 Análise Multicritério Espacial - AHP Gaussiano

De posse dos mapas básicos dos 11 (onze) fatores/critérios, para a obtenção do mapa de suscetibilidade à inundação, se fez necessário realizar a normalização cardinal desses fatores, para em seguida ser possível combiná-los em uma matriz de decisão.

4.3.3.1 Declaração do objetivo, critérios de decisão e alternativas

Uma matriz de decisão, para solucionar determinado problema, é composta de três níveis hierárquicos. No topo da “pirâmide”, encontra-se o objetivo, no nível abaixo (intermediário) encontram-se os critérios ou fatores estabelecidos, enquanto na base as alternativas que serão avaliadas pelos critérios. Nesse sentido, existem inúmeras alternativas, para que possam ser analisadas de acordo com determinados critérios, para alcançar o objetivo final (SANTOS; COSTA; GOMES, 2021). Seguindo a hierarquia proposta, este estudo tem como objetivo final a análise de suscetibilidade à inundação, seguida por 11 (onze) critérios de avaliação (fatores condicionantes) e 13.971 alternativas. Cada alternativa representa um pixel (célula) dentro da área de estudo.

4.3.3.2 Normalização Cardinal de Critérios para Matriz de Decisão

A normalização cardinal foi realizada na escala de variação dos valores ou conceitos dos 11 mapas de critérios, isto é, fatores como uso e cobertura da terra, solos e geomorfologia, os quais são de caráter qualitativos, necessitaram da (re)organização da escala, de modo a atender à lógica da matriz de decisão (LIMA et al., 2021; SANTOS; COSTA; GOMES, 2021), uma vez que são representados em classes nominais e não numéricas (Quadro 5). Para tanto, se fez necessário o julgamento e (re)organização da escala, atribuindo-se pesos para cada fator qualitativo, em que, por exemplo, o valor mínimo representará nenhuma influência sobre as condições de suscetibilidade à inundação, enquanto o valor máximo representará alta influência. Por outro lado, todos os demais fatores de caráter quantitativo, seguem suas escalas originais, definindo-se apenas a influência (máxima ou mínima) daquele fator sobre a matriz de decisão (suscetibilidade à inundação).

No Quadro 5, são apresentadas as características gerais de cada um dos critérios, a normalização de dados a ser utilizada e a regra de decisão (máximo ou mínimo).

Quadro 5 - Características dos critérios para a normalização cardinal dos mapas.

Mapa de critério	Tipo dos dados	Características	Regra de decisão
Uso e Cobertura da Terra	Qualitativo	Áreas mais urbanizadas, em detrimento de áreas vegetadas, especialmente próximas ou sob as planícies fluviais, tendem a apresentar maior suscetibilidade à inundação.	 MÁXIMO <i>Massa d'água</i> <i>Área edificada</i> <i>Pasto</i> <i>Solo Exposto</i> <i>Plantio</i> <i>Vegetação secundária</i> <i>Vegetação primária</i>
Cobertura de Solos		Para a área em estudo, em consulta ao banco de dados da EMBRAPA, tem-se apenas uma classe de solo distribuída em 5 unidades. Entretanto, para aplicação neste estudo, a unidades foram divididas em 2 grupos, isto é, um para as unidades que se situam sobre a planície de inundação e o outro para as unidades situadas sobre terra firme. Solos sobre planícies de inundação estão mais suscetíveis à saturação, logo apresentam menor capacidade de infiltração de água, causando alagamentos, e com isso tendem a corroborar para a intensificação de processos de inundação	 MÁXIMO Solos sobre planície de inundação Solos sobre terra firme
<i>Geomorphons</i>		Áreas situadas sobre superfícies planas ou sobre planícies de inundação são mais suscetíveis à inundação	 MÁXIMO Plano ou planície de inundação Vertentes convexas e plano-convexas Vertentes côncavas e plano-côncava Topo
Hipsometria	Quantitativo	Áreas de menor elevação dentro de uma bacia hidrográfica, apresentam maior suscetibilidade à inundação	MÍNIMO
Declividade		Áreas de menor inclinação tendem a apresentar maior suscetibilidade à inundação	MÍNIMO
SPI		Áreas com maior potencial de escoamento, isto é, de elevado SPI, apresentam maior suscetibilidade à inundação	MÁXIMO
TWI		Áreas mais úmidas, isto é, de elevado TWI, apresentam maior suscetibilidade à inundação	MÁXIMO
Fluxo Acumulado		Áreas que apresentam maior potencial de acúmulo de escoamento, apresentam maior suscetibilidade à inundação	MÁXIMO
HAND		Áreas topograficamente baixas e situadas em planícies fluviais tendem a apresentar maior suscetibilidade à inundação	MÍNIMO
Distância do rio		Áreas mais próximas do rio apresentam maior suscetibilidade à inundação	MÍNIMO
Distribuição da Precipitação		Quanto maior o “volume de chuvas”, maior a suscetibilidade à inundação	MÁXIMO

Fonte: Autor.

4.3.3.3 Fator Gaussiano

As etapas de resolução do método são apresentadas no Quadro 6. Ressalta-se que todo o processo foi realizado através do *software MS Excel*, utilizando-se de um VBA (Visual Basic for Applications), onde foram introduzidas as informações de critérios e alternativas. Antecedendo o processo, para cada pixel/célula (alternativas) foram extraídos o valor de cada critério.

Quadro 6 - Etapas para análise AHP Gaussiana.

Passo	Descrição
1	Estabelecimento da matriz de decisão e normalização (Maximização ou Minimização)
2	Cálculo da média das alternativas em cada critério (<i>Média (X)</i>)
3	Cálculo do desvio padrão das alternativas em cada critério (<i>Desvio padrão (σ)</i>)
4	Cálculo do Fator Gaussiano (<i>f gaussiano</i>) para cada critério (razão do desvio padrão/média)
5	Cálculo do Fator Gaussiano Normalizado (<i>f gaussiano normalizado</i>)
6	Multiplicação da Matriz de Decisão Normalizada pelo Fator Gaussiano Normalizado (ponderação)
7	Obtenção da Ordenação (rank)

Fonte: Santos, Costa e Gomes (2021).

Conforme os passos 2, 3, 4 e 5, nas etapas do método (Quadro 6), deve-se considerar as equações (3 a 6) a seguir, respectivamente:

$$Média (X) = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n} \quad (3)$$

$$Desvio\ padrão\ (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - X)^2}{n - 1}} \quad (4)$$

$$f_{gaussiano} = \frac{\sigma}{X} \quad (5)$$

$$f_{gaussiano\ normalizado} = \frac{f_{gaussiano}}{\sum_{i=1}^n f_{gaussiano\ in}} \quad (6)$$

Realizado os cálculos, de posse do ranking, foi gerado o mapa de suscetibilidade à inundação a partir da análise conjunta e combinação dos 11 (onze) critérios. Nesse sentido, a combinação entre os mapas de critérios dentro do ambiente SIG, por meio de ferramentas de rasterização, gera o produto técnico cartográfico desse projeto, em que, a partir das faixas de valores obtidas pela combinação, foi realizada a reclassificação das áreas de suscetibilidade (Tabela 1). Para consolidação e validação das classes, foram considerados o histórico de levantamentos de áreas suscetíveis a inundação pela CPRM e de ocorrências em consulta ao banco de informações da Defesa Civil.

Tabela 1 - Reclassificação das áreas suscetíveis à inundação.

Classe	Valores
Muito baixa	0,0 a 0,2
Baixa	0,2 a 0,4
Moderada	0,4 a 0,6
Alta	0,6 a 0,8
Muito Alta	0,8 a 1,0

Fonte: Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Morfométrica

Para apresentar as características morfométricas da SBAU, foram avaliadas as suas variáveis geométricas, de relevo e de rede de drenagem (Tabela 2).

Tabela 2 - Características morfométricas da SBAU.

Características	Índices Morfométricos	Valores Mensurados
Geometria da bacia	Área (km ²)	1003,12
	Perímetro (km)	261,93
	Fator de Forma	0,19
	Índice de Circularidade	0,18
	Coeficiente de Compacidade	2,32
	Padrão de Drenagem	Dendrítico
Relevo	Altitude mínima (m)	55
	Altitude máxima (m)	211
	Altitude média (m)	126,95
	Amplitude Altimétrica (m)	156
	Declividade mínima (°)	0
	Declividade máxima (°)	68,65
	Declividade média (°)	2,15
	Índice de Rugosidade	163,99
Rede de drenagem	Comprimento do rio principal (km)	95,45
	Comprimento Total dos canais da bacia (km)	1054,47
	Densidade de Drenagem (km/km ²)	1,05
	Índice de Sinuosidade	1,92
	Ordem da bacia	4 ^a

Fonte: Autor.

Os resultados indicam que a SBAU é de quarta ordem, com formato alongado (se afastando do circular, comprovado pelo valor de Fator de Forma próximo a zero) apresentando padrão de drenagem marcado por cursos d'água retilíneos, com canais principais seguindo NE-SW e afluentes NW-SE, localmente se observa drenagem dendrítica; a rede de drenagem acompanha as formas de relevo marcadas por um padrão suavemente ondulado. A análise integrada das variáveis morfométricas da bacia, destaca que sem um planejamento adequado do uso do solo, algumas características geométricas, de relevo e de drenagem podem contribuir para ocorrências de inundação.

A SBAU possui uma área de contribuição de 1003,12 km² e um perímetro de 261,93 km. O alto Coeficiente de compacidade calculado para a SBAU (2,32) indica que esta não está sujeita a enchentes em condições normais de precipitação. O baixo Fator de forma calculado para SBAU (0,19) caracteriza a bacia como estreita, longa e não sujeita a enchentes em

condições normais de precipitação. Assim, a possibilidade de chuvas intensas abrangendo simultaneamente toda a extensão da sub-bacia é baixa. O índice de circularidade para a SBAU é de 0,18, o que a caracteriza como uma bacia alongada. Em bacias alongadas, os tributários atingem o curso d'água principal em vários pontos, aumentando os tempos de concentração do escoamento superficial e diminuindo as chances de enchente (WILSON; CHANDRASEKAR; MAGESH, 2012).

Na SBAU, a altitude mínima é de 55m, a altitude máxima é de 211m, enquanto a altitude média é de 126,95m. A amplitude altimétrica é de 156 m, enquanto apresenta uma inclinação média de 5%, apresentando, segundo a EMBRAPA (2014), relevo suave ondulado. A SBAU apresenta médio Índice de Rugosidade, típico em relevos suaves ondulados, o que está diretamente relacionado com as condições de declividade da bacia e condiz com o tipo de relevo encontrado, conforme a classificação da EMBRAPA.

As características da rede de drenagem influenciam o comportamento hidrológico e litológico das bacias hidrográficas (TEODORO et al, 2007). O comprimento do rio principal da SBAU e o comprimento total de todos os canais da bacia correspondem a 95,45 km e 1054,47 km, respectivamente. A SBAU apresenta média densidade de drenagem, isto é, é relativamente drenado em 1,05 km/km², sendo composta por cursos d'água transicionais entre retilíneos e sinuosos, com índice de sinuosidade de 1,92.

Esses resultados, em todos os aspectos físicos analisados, refletem os relatados por Correa (2017), o qual analisou as características morfométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Uraim. Em resumo, as características morfométricas indicam condições altamente favoráveis para o escoamento superficial, reflexo do baixo percentual de áreas com boa permeabilidade (CORREA, 2017). Em uma primeira análise, isso pode ser explicado pelo fato de que o uso e cobertura da terra e o manejo ineficiente da terra por muitos anos no município de Paragominas/PA interferiram na forma do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Uraim.

Importante ressaltar, que apesar de os fatores índice de circularidade, fator de forma e coeficiente de compacidade indicarem baixa condição natural a enchentes na SBAU, o município de Paragominas apresenta histórico de ocorrência de enchentes e inundações, especialmente em seu centro urbano. Nesse sentido, entende-se que o comportamento hidrológico macro da SBAU está ligado às variáveis morfométricas, as quais não indicam potencial natural de inundação para a área estudada. Assim, as inundações que ocorrem na área devem ser explicadas por fatores geogênicos e antropogênicos. Os itens que seguem a

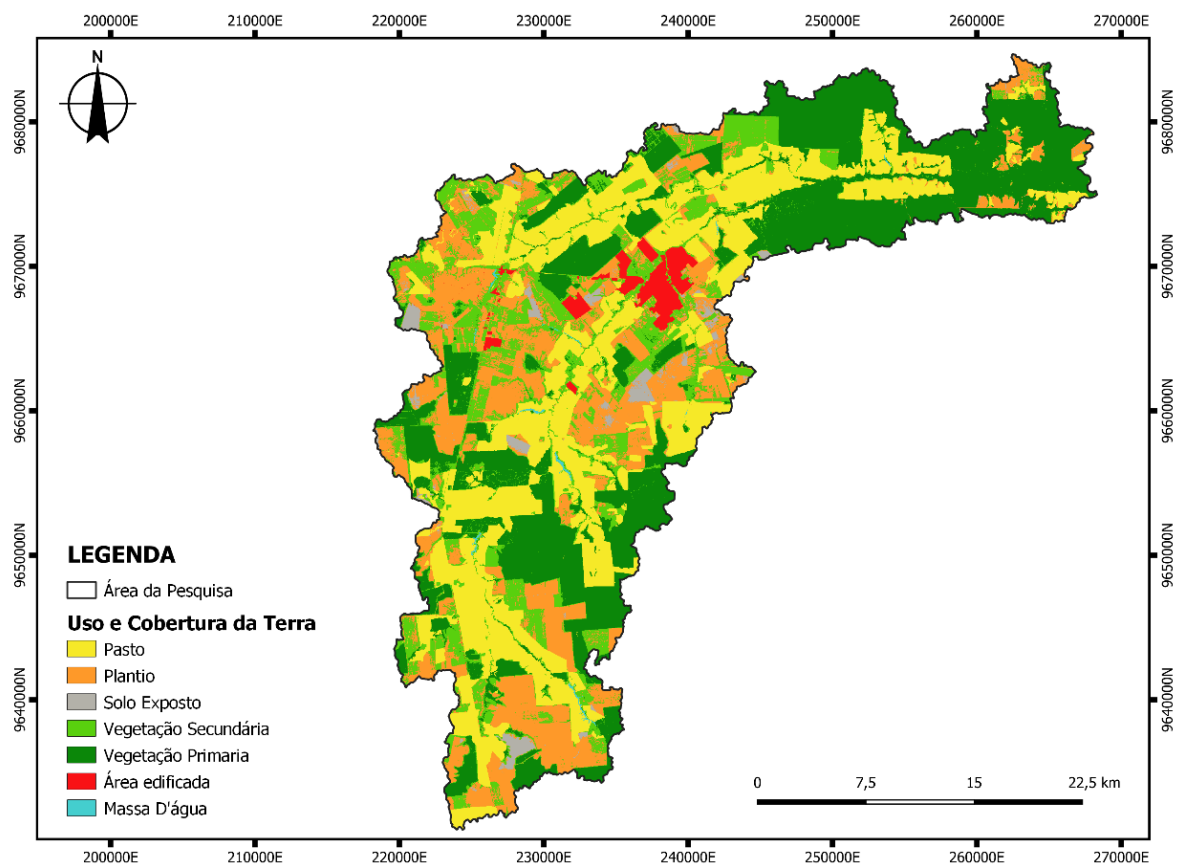
discussão, isto é, a interação entre os fatores condicionantes, evidenciam as causas e abrangência da suscetibilidade a inundações na SBAU.

5.2 Fatores Condicionantes

5.2.1 Uso e Cobertura da Terra

O mapeamento de uso e cobertura da terra (ano 2020) indicou que a classe de Área edificada representa apenas 1,95% da área. Entretanto, por ter se desenvolvido e permanecer crescendo às margens do rio Uraim e afluentes, esta é a que apresenta maiores propriedades para potencializar condições de suscetibilidade a inundações, tendo em vista a pressão que exerce sobre os canais fluviais, em detrimento de Áreas de Preservação Permanente.

Figura 8 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra.



Fonte: Autor.

Segundo Silva Filho et al. (2021), a carência de vegetação nas margens do canal, eleva a velocidade de escoamento superficial das áreas adjacentes para o seu interior, permitindo maior aporte de sedimentos, e consequentemente o seu assoreamento, aumentando o nível do leito do canal, logo, seu nível d'água também, ocasionando o transbordamento.

Em menores proporções, as classes massa d'água e solo exposto, completam a composição do uso e cobertura da terra na bacia, com suas respectivas áreas descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Classes de uso e cobertura da terra, para o ano de 2020.

Classes	Área (km²)	Área (%)
Vegetação Primária	314,20	31,32%
Pasto	281,59	28,07%
Plantio	203,75	20,31%
Vegetação Secundária	164,17	16,37%
Área Edificada	19,59	1,95%
Solo Exposto	18,10	1,80%
Massa D'água	1,73	0,17%
Total	1.003,12	100%

Fonte: Autor.

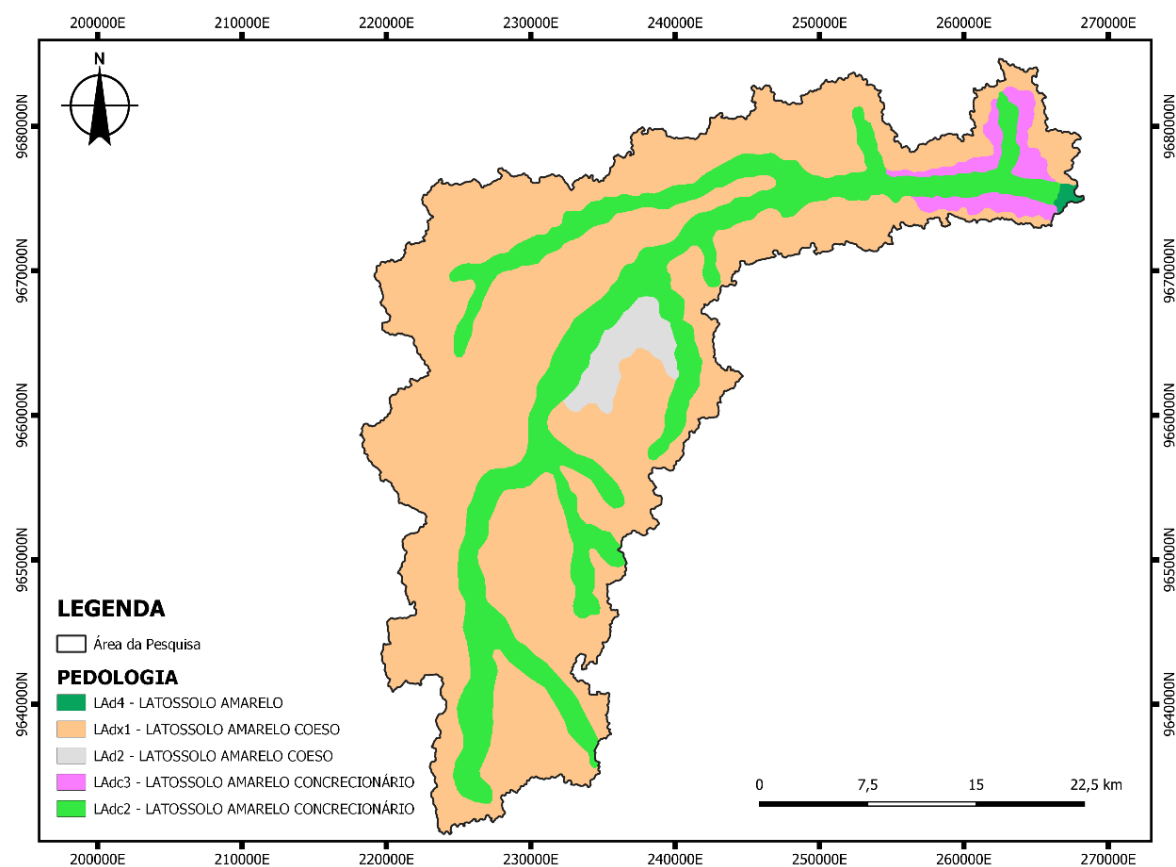
A SBAU, totalmente inserida no município de Paragominas/PA, com uma área de 1.003,12 km², é parte integrante de uma área que por décadas foi acometida pela exploração madeireira predatória, intitulado a referida cidade, pelo Ministério do Meio Ambiente em 2007, como uma das que mais desmatavam a floresta amazônica. Diante do cenário, logo, foi o primeiro município a ser implantado o Projeto “município verde” (OLIVEIRA et al., 2020).

As áreas que foram desmatadas, logo foram tomadas pelas atividades agropastoris (Pasto – 28,07% e Plantio – 20,31%), representando 48,38% da área de estudo (Figura 8), seguidas pelo forte movimento de recuperação de áreas de reserva legal e preservação permanente (vegetação secundária – 16,37%). Ainda que com a pressão econômica ocasionada no passado, a SBAU mantém-se com aproximadamente 1/3 de vegetação primária. As atividades agropastoris têm como modalidade de integração componentes agrícola e pecuário sem a presença da cobertura florestal. Essa característica do uso da terra impacta na diminuição da infiltração, consequentemente no aumento da superfície impermeável favorecendo a suscetibilidade de inundação (MAHNOUD; GAN, 2018).

5.2.2 Cobertura de Solos

Os atributos pedológicos de uma área influenciam direta ou indiretamente na infiltração e escoamento que dependem das características físicas do solo, como permeabilidade e porosidade do solo (RAHMATI; POURGHASEMI; ZEINIVAND, 2015). Nesse sentido, na SBAU, há o predomínio da classe de Latossolo Amarelo apresentando dois tipos de caráter, conforme EMBRAPA (2014): caráter distrocoeso e caráter concrecionário (Figura 9).

Figura 9 - Classes de Cobertura de Solos.



Fonte: Autor.

A classe de Latossolo Amarelo Distrocoeso predomina na SBAU e, devido às suas propriedades, apresenta, quando comparado às demais subclasses/caráter, o potencial de aumentar o escoamento superficial. Com o predomínio sobre a área de estudo, ainda que relativamente distante dos cursos d'água, pode-se aferir que contribui fortemente, quando da ocorrência de chuvas de longa duração, para os processos de inundação, tendo em vista que rápido saturam, contribuindo diretamente na carga hídrica considerando as próprias condições naturais de drenagem pluvial do terreno (LIMA NETO et al., 2009). Já o solo de caráter concrecionário, o qual situa-se sob a planície de inundação da SBAU, neste estudo, é o que representa maior suscetibilidade a inundações.

5.2.3 Hipsometria, Declividade e *Geomorphons*

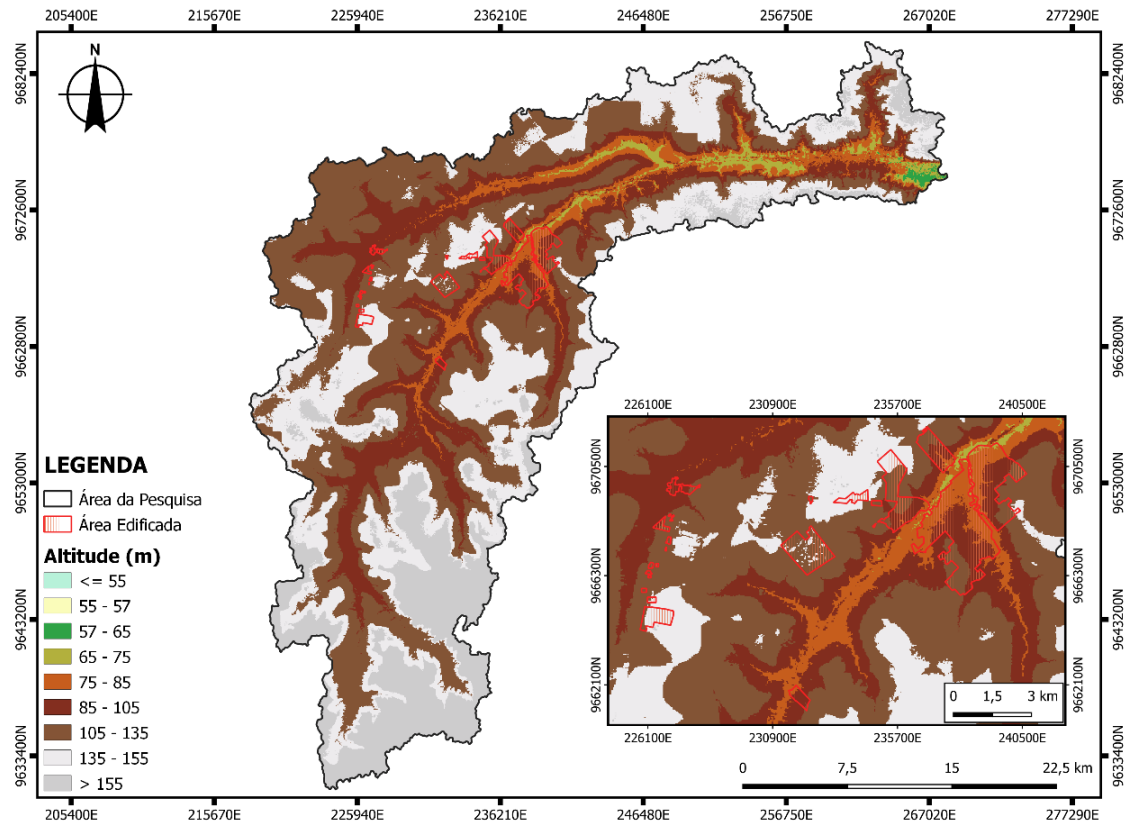
A classificação adotada (Quadro 7) para as variáveis de Hipsometria (Figura 10) e Declividade (Figura 11) teve como referência o utilizado no documento “Geodiversidade do Estado do Pará”, do Programa Geologia do Brasil, desenvolvido pelo CPRM (JORGE; TEIXEIRA; FONSECA, 2013).

Quadro 7 - Declividade e amplitude topográfica das formas de relevo identificadas no estado do Pará.

Unidade de Relevo	Declividade (graus)	Amplitude Topográfica (m)
Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (R1a)	0 a 3	zero
Terraços Fluviais (R1b1)	0 a 3	2 a 20
Planícies Fluviomarinhas (R1d)	0	zero
Planícies Costeiras (R1e)	0 a 5	2 a 20
Tabuleiros (R2a1)	0 a 3	20 a 50
Tabuleiros Dissecados (R2a2)	2 a 5	0 a 20
Baixos Platôs (R2b1)	0 a 5	20 a 50
Ra o Platôs Dissecados (R2b2)	0 a 5	20 a 50
Planaltos (R2b3)	0 a 5	20 a 50
Chapadas e Platôs (R2c)	0 a 5	0 a 20
Superfícies Aplainadas Conservadas (R3a1)	0 a 5	0 a 10
Superfícies Aplainadas Degradadas (R3a2)	0 a 5	10 a 30
Inselbergs (R3b)	25 a 60	50 a 500
Colinas Amplas e Suaves (R4a1)	3 a 10	20 a 50
Colinas Dissecadas e Morros Baixos (R4a2)	5 a 20	30 a 80
Morros e Serras Baixas (R4b)	15 a 35	80 a 200
Montanhoso (R4c)	25 a 60	300 a 2000
Escarpas Serranas (R4d)	25 a 60	300 a 2000
Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos (R4e)	10 a 45	50 a 200
Vales Encaixados (R4f)	10 a 45	100 a 300

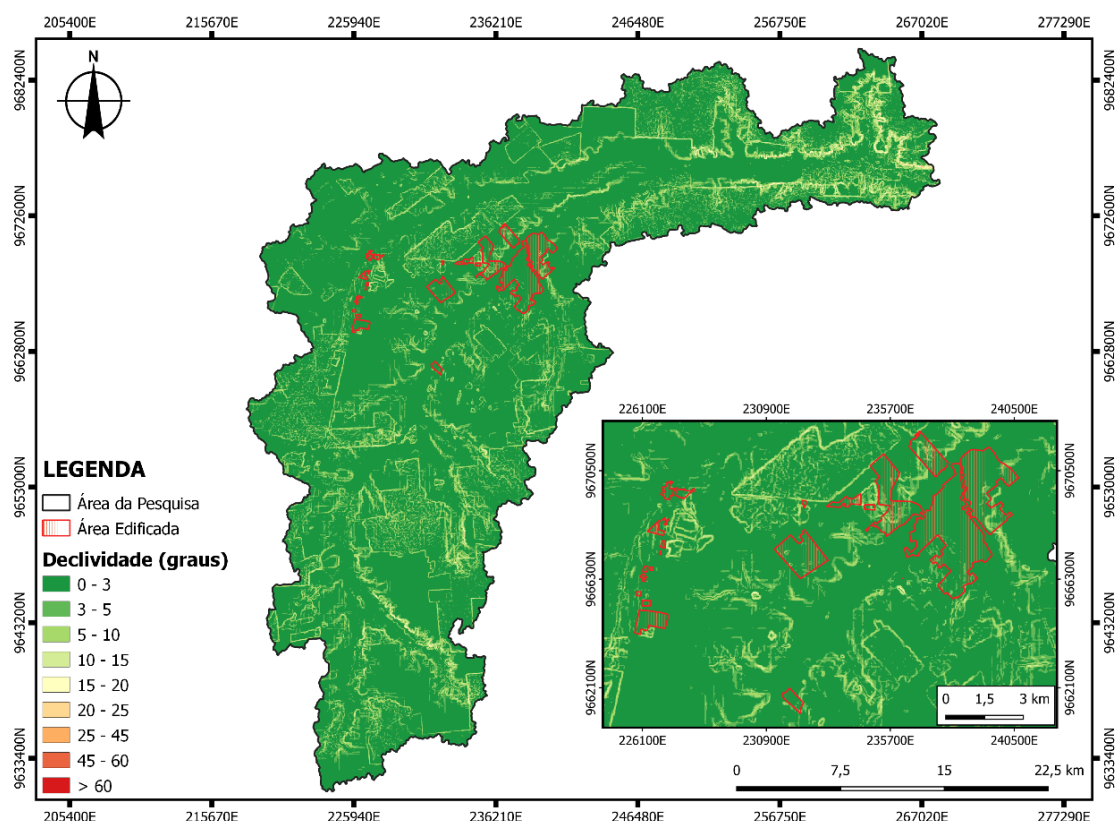
Fonte: Jorge, Teixeira e Fonseca (2013).

Figura 10 - Classes de altimetria.



Fonte: Autor.

Figura 11 - Mapa de Declividade.



Fonte: Autor.

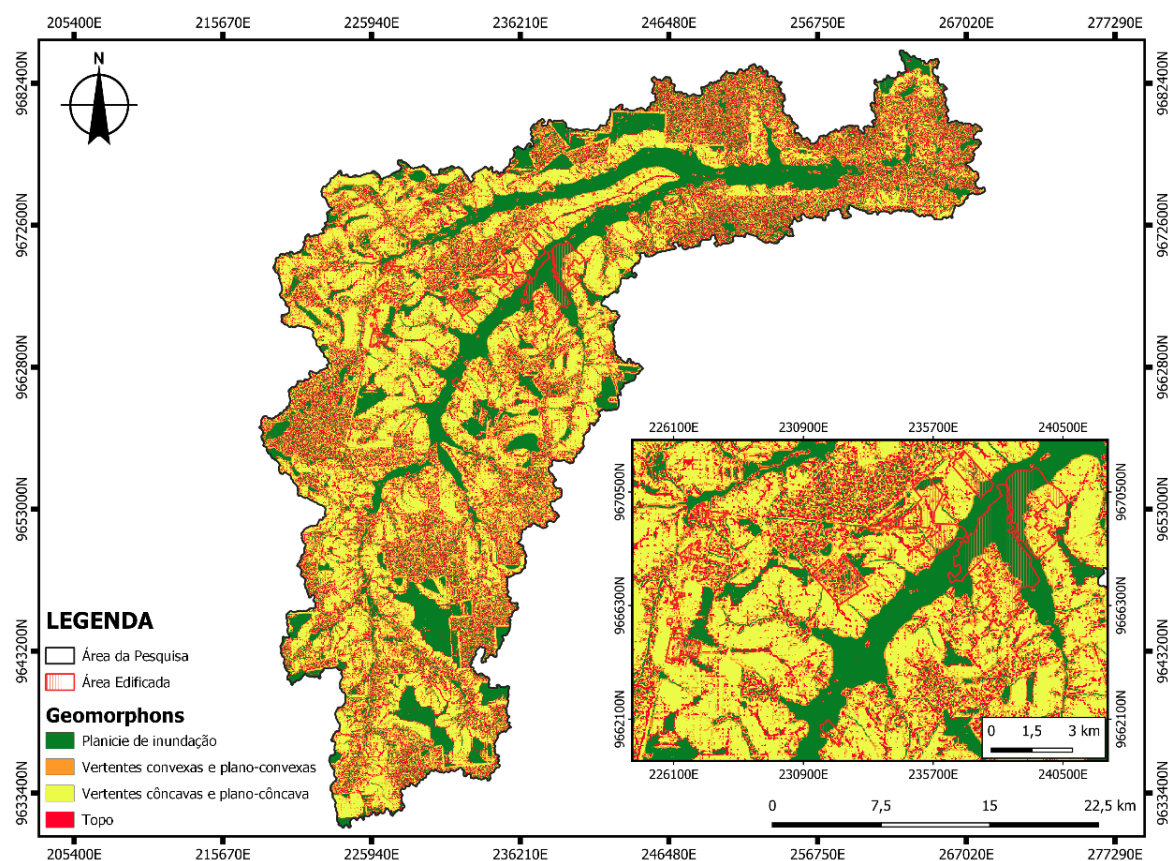
A área edificada do município de Paragominas/PA situa-se consideravelmente nas unidades de relevo “Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (R1a)” e “Terraços Fluviais (R1b1)”, ou “Planície de Inundação”, de acordo com o Fator *Geomorphons* (Figura 12), onde a declividade varia entre 0° (zero graus) e 3° (três graus) e a amplitude topográfica está na faixa de variação de zero e 20 metros. No Quadro 8, apresenta-se a descrição das referidas unidades.

Quadro 8 - Descrição das unidades agradacionais.

Unidade Agradacional	Descrição
R1a – Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (planícies de inundação, baixadas inundáveis e abaciamentos)	Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, apresentando gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d’água principais. Terrenos imperfeitamente drenados nas planícies de inundação, sendo periodicamente inundáveis; bem drenados nos terraços. Os abaciamentos (ou suaves depressões em solos arenosos) em áreas planas ou em baixos interflúvios, denominados Áreas de Acumulação Inundáveis (Aai), frequentes na Amazônia, estão inseridos nessa unidade.
R1b1 – Terraços Fluviais (paleoplanícies de inundação em fundos de vales)	Superfícies bem drenadas, de relevo plano a levemente ondulado, constituído de depósitos arenosos a argilosos de origem fluvial. Consistem de paleoplanícies de inundação que se encontram em nível mais elevado que o das várzeas atuais e acima do nível das cheias sazonais. Devido à reduzida escala de mapeamento, essa unidade só pôde ser mapeada em vales de grandes dimensões, em especial, nos rios amazônicos.

Fonte: Jorge, Teixeira e Fonseca (2013).

Figura 12 - Unidades de *Geomorphons*.



Fonte: Autor.

A Figura 12 apresenta uma estrutura do relevo formada por uma ampla área de influência de vertentes, que complementam uma região de planície associada a geometria de vales abertos, sujeitos a influência do regime hídrico sazonal, mais estreitos nas cabeceiras e abertos na foz, que marca a confluência com o Igarapé do Sete. No estado do Pará há maior representatividade de relevos com baixas declividades, e vales do tipo abertos, ricos em planícies fluviais, as enxurradas ou inundações acontecem sobretudo em decorrência de chuvas intensas ou moderadas, sendo estas duradouras, as quais causam inundações bruscas, quando o solo satura (JORGE; TEIXEIRA; FONSECA, 2013; MAHMOUD; GAN, 2018).

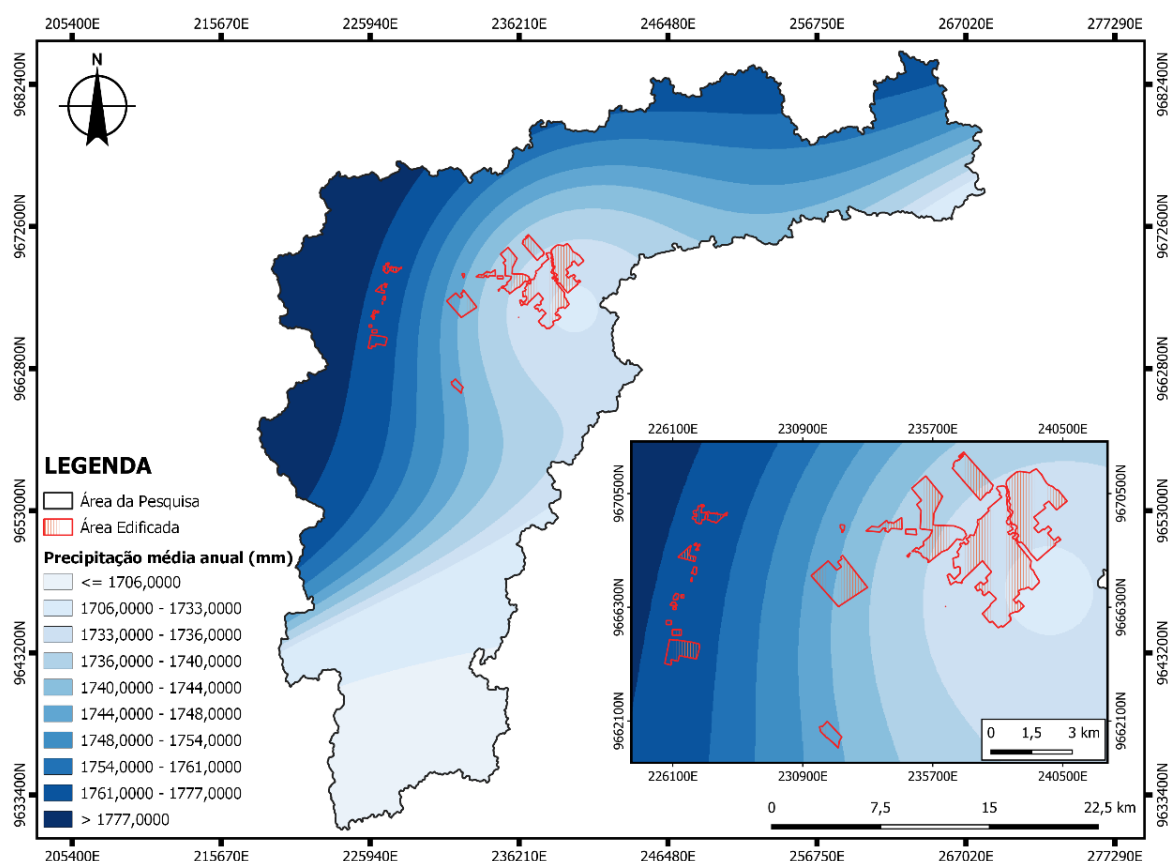
5.2.4 Distribuição da Precipitação Pluviométrica

A precipitação pluviométrica apresenta um comportamento gradativo de SE para NW, com o maior volume a N-NW da bacia (Figura 13). Na classificação, os mínimos para o período adotado (2000 a 2020) são inferiores a 1700 mm e os maiores valores superiores a 1770 mm. Mesmo considerando a reduzida diferença na avaliação do acumulado anual, a Figura 4 que apresenta a média mensal para o mesmo período, indica uma defasagem expressiva entre os períodos mais e menos chuvosos, onde de julho a novembro é 50% inferior à média mensal do

período de 148,4 mm. E os máximos mensais (de março a abril) são superiores em 100% da média mensal do período.

Nas cabeceiras da SBAU se concentram os maiores volumes acumulados no ano. A sede municipal de Paragominas localiza-se na zona de influência do Igarapé Paragominas e do Rio Uraim, em um vale bem definido com uma ampla planície associada, tal fator contribui para que no período chuvoso, o efeito conjugado do escoamento do Igarapé Paragominas e do Rio Uraim possam causar efeitos no ambiente urbano, pela condição de impermeabilização do solo e problemas vinculados à drenagem urbana, ocasionando assim a remoção do solo (erosões) e inundações (NYARKO, 2014; CHAPI et al., 2017).

Figura 13 - Classes de precipitação pluviométrica, média do acumulado anual, período de 2000 a 2020.



Fonte: Autor.

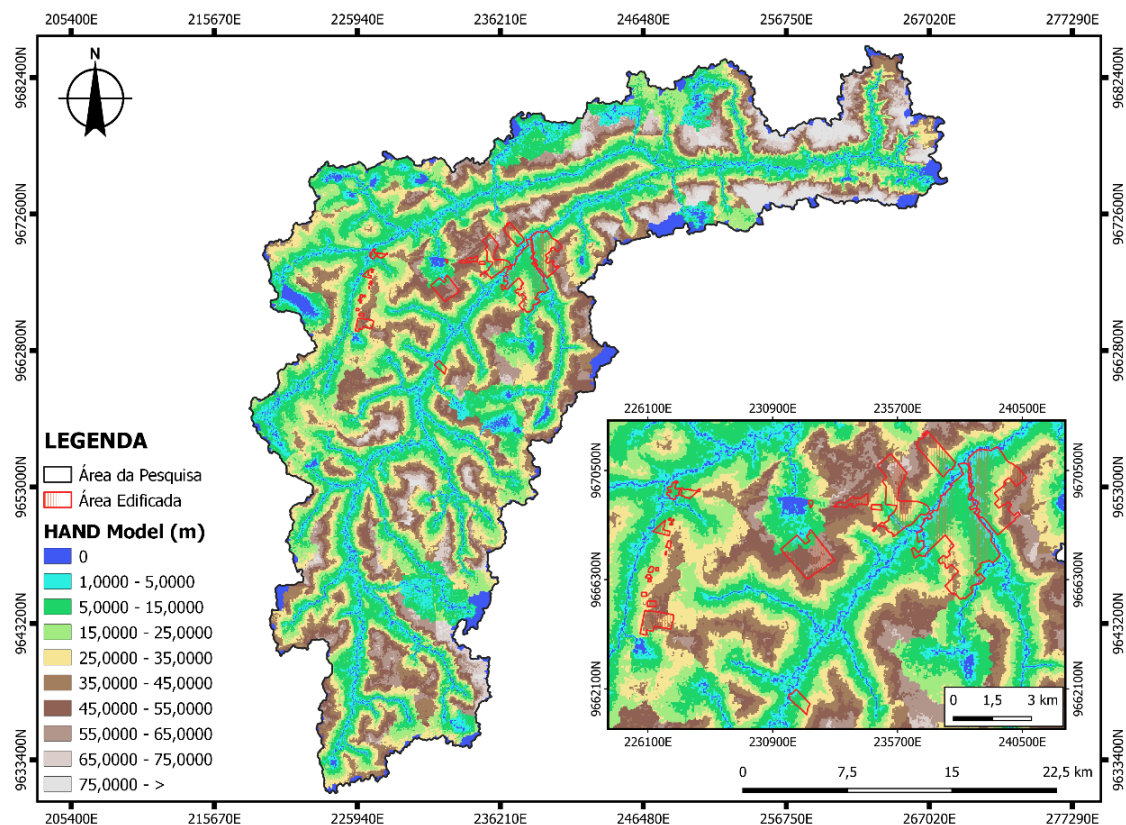
5.2.5 HAND

O potencial relativo para inundação da SBAU (determinação do HAND), foi normalizado, isto é, adotado uma cota de inundação já alcançada na bacia, a partir do histórico de ocorrências no município, obtido por meio do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD). As principais variações observadas de até 5 (cinco) metros, cota de referência

definida a partir do histórico analisado, são marginais na zona de influência do Igarapé Paragominas e do Rio Uraim (Figura 14). A classe de 5 a 15 m é predominante, indicando que em condições normais, esta faixa seria de menor impacto, considerando que quanto maior a cota, maior é o raio de distância do curso d'água. A análise conjunta das Figuras 12 e 14 indica que a sede municipal se encontra vulnerável as condições de escoamento superficial, dada pela conjunção dos elementos topográficos e pela variação de nível das águas, sendo assim necessário um sistema de gestão de drenagem urbana eficiente para reduzir os impactos no período menos chuvoso.

Na Tabela 4, observam-se os dados históricos de ocorrências no município de Paragominas, reconhecidos nacionalmente pela Defesa Civil, conjuntamente com os respectivos resultados de pluviometria.

Figura 14 - Parâmetro HAND.



Fonte: Autor.

Tabela 4 - Registros de Ocorrências S2iD versus pluviometria.

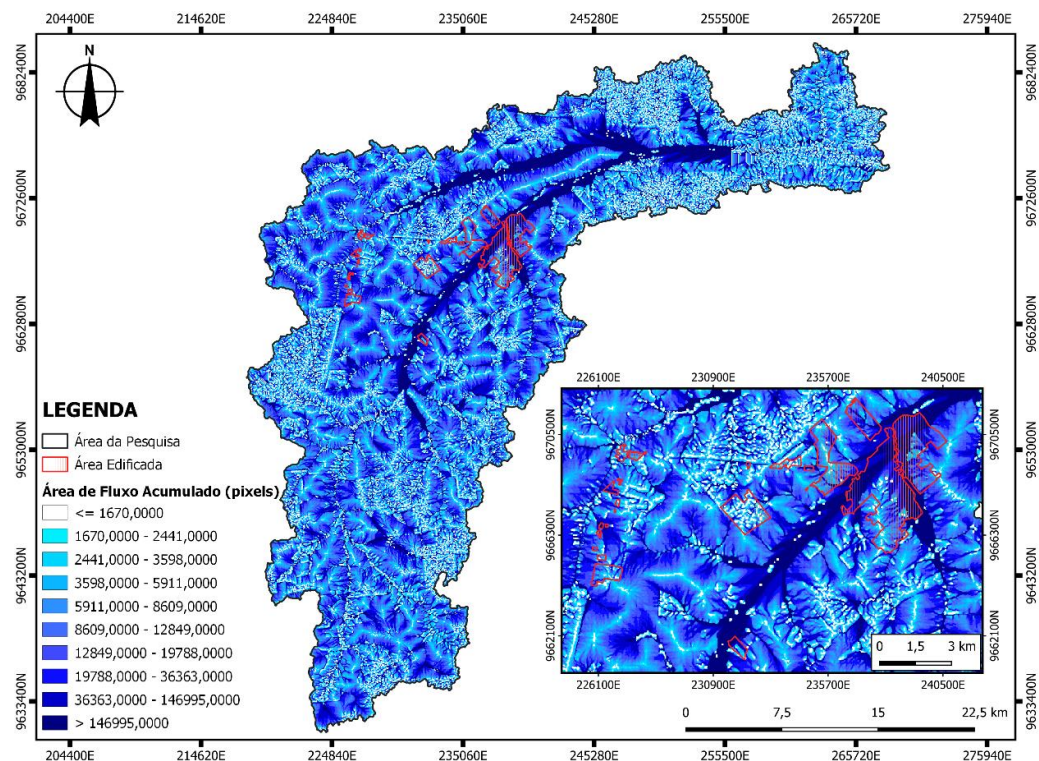
Ocorrências S2iD			Pluviometria
Nº Protocolo	Data	Tipo	Estação Paragominas-PA 347000
PA-F-1505502-13214-20190322	22/03/2019	Chuva intensa (inundações)	134,2 mm
PA-F-1505502-13214-20200303	03/03/2020	Chuva intensa (inundações)	146,3 mm
PA-F-1505502-12300-20210216	16/02/2021	Alagamentos (inundações)	54,1 mm
Defesa Civil (Paragominas)	10/05/2022	Chuva intensa (inundações)	98,0 mm

Fonte: S2iD (2022) e ANA (2022).

5.2.6 Fluxo Acumulado, TWI e SPI

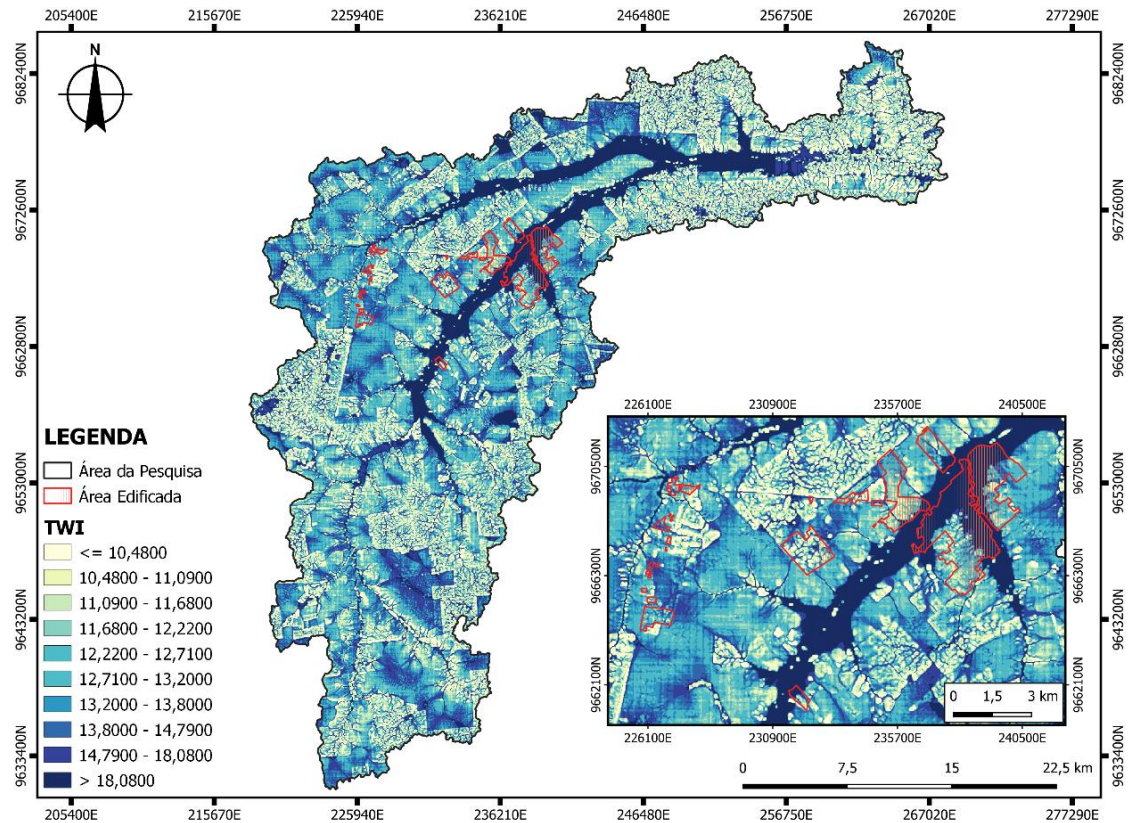
As variáveis Fluxo Acumulado, TWI e SPI, são discutidas de forma conjunta, considerando sua relação direta com a avaliação de potencial do comportamento hidrológico (KAZAKIS; KOUGIAS; PATSIALIS, 2015). As respostas do escoamento superficial indicadas nas Figuras 15, 16 e 17 são compatíveis, uma vez que a base em todas está no MDE. Observa-se maior concentração nas áreas potenciais da rede de drenagem e menor onde a topografia apresenta os efeitos da declividade do terreno, delimitando assim a variação de fluxo, com as áreas de retenção e áreas onde o escoamento superficial é mais ativo.

Figura 15 - Classes segundo o Fluxo Acumulado.



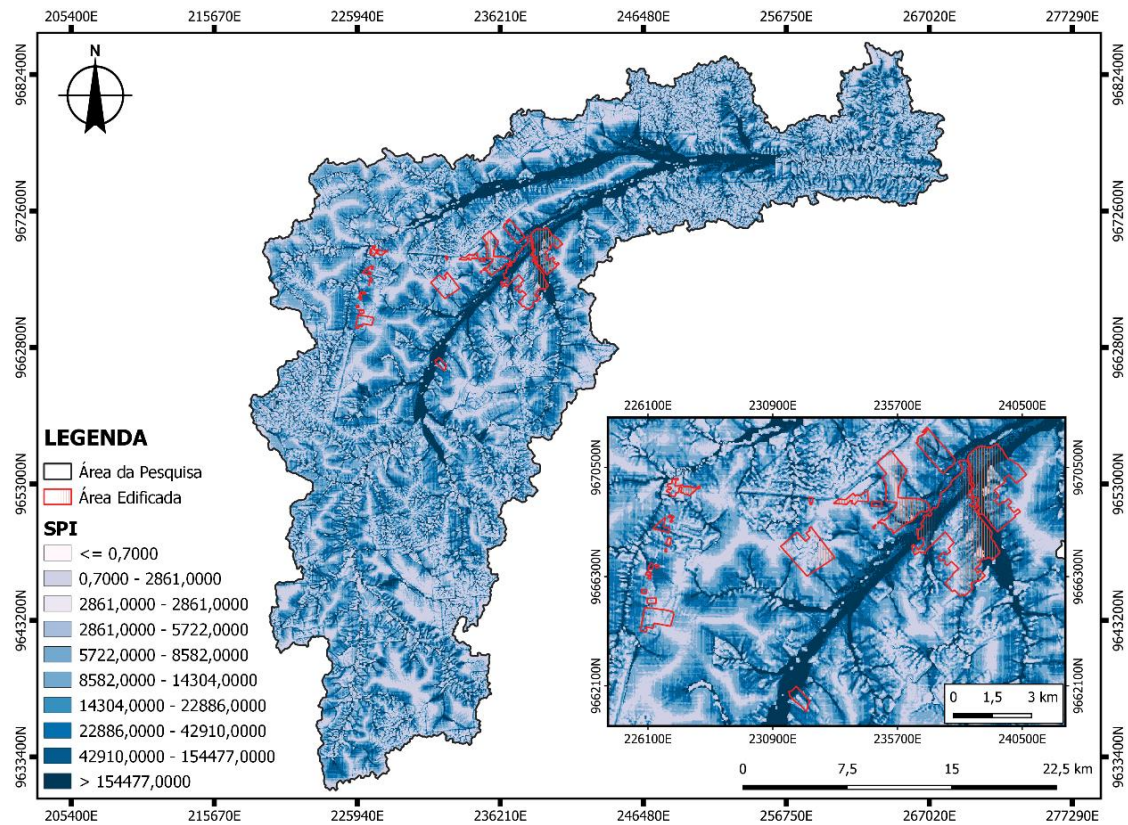
Fonte: Autor.

Figura 16 - Classes segundo o Índice Topográfico de Umidade (TWI).



Fonte: Autor.

Figura 17 - Classes segundo o do Índice de Potência de Escoamento (SPI).



Fonte: Autor.

O índice TWI (Figura 17) possibilita a interpretação quanto a retenção hídrica (TEHRANYA; JONESA; SHABANIB, 2019). Nesse sentido, é um fator altamente correlato com o fluxo acumulado, o que pode ser observado na Figura 16. O índice SPI da SBAU (Figura 17) favorece a interpretação quanto ao potencial erosivo (CHAPI et al., 2017), indicando que há uma área expressiva de áreas edificadas sobre terrenos naturalmente instáveis por situarem-se na zona inundável. À medida que a área de captação e a declividade aumentam, o escoamento superficial é favorecido, influenciando a suscetibilidade à inundação (TEHRANYA; JONESA; SHABANIB, 2019). Esta condição pode ser observada na Figura 17, pois as áreas ao redor do rio podem ser vistas como tendo maiores valores de SPI, quando comparadas com o restante da bacia. Áreas edificadas localizadas em zonas de grande acumulação de fluxo e altos índices TWI e SPI, como é o caso da SBAU, são naturalmente mais vulneráveis às inundações, uma vez que estas atuam como pontos convergentes para o escoamento superficial (MAHMOUD; GAN, 2018).

5.2.7 Distância do rio

A distância do rio é uma condicionante para estudos de inundações (FERNÁNDEZ; LUTZ, 2012), onde áreas distantes da rede de drenagem são menos propensas a sofrer inundação quando comparada a áreas próximas do rio (MAHMOUD; GAN, 2018). Valores menores que 100m e 500m, respectivamente, são considerados elevados para ocorrer a inundação (RAHMATI; POURGHASEMI; ZEINIVAND, 2015; SAMANTA et al., 2016).

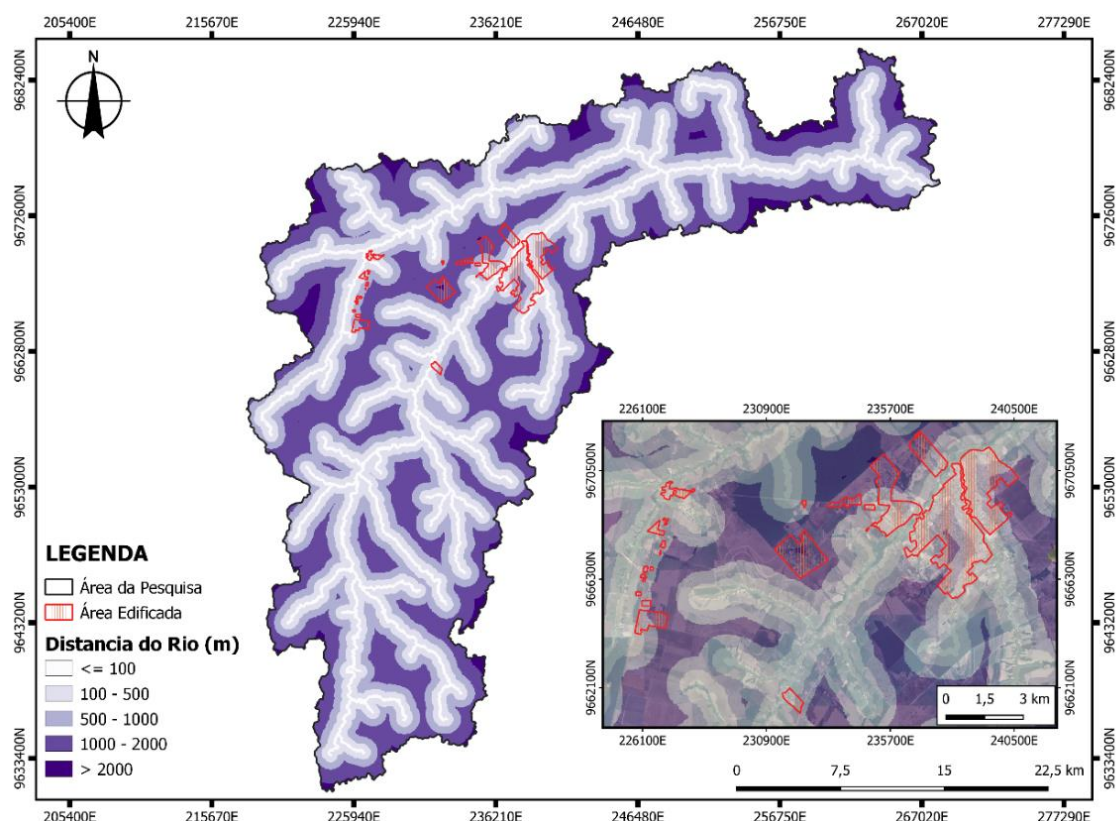
Conforme apresentado na Figura 18, a faixa de distância do rio menor ou igual a 100 m e no intervalo de 100-500m estão mais suscetíveis a inundação, onde aproximadamente 39% das áreas edificadas da SBAU estão inseridas (Tabela 5).

Tabela 5 - Distribuição, por equidistâncias, das áreas edificadas da SBAU em relação à rede de drenagem.

Equidistâncias (m)	Áreas edificadas	
	km ²	%
≤ 100	1,12	6,00
100 - 500	6,33	33,00
> 500	11,65	61,00
Total	19,10	100,00

Fonte: Autor.

Figura 18 - Equidistâncias dos canais de drenagem.



Fonte: Autor.

5.3 Análise de Suscetibilidade à Inundação

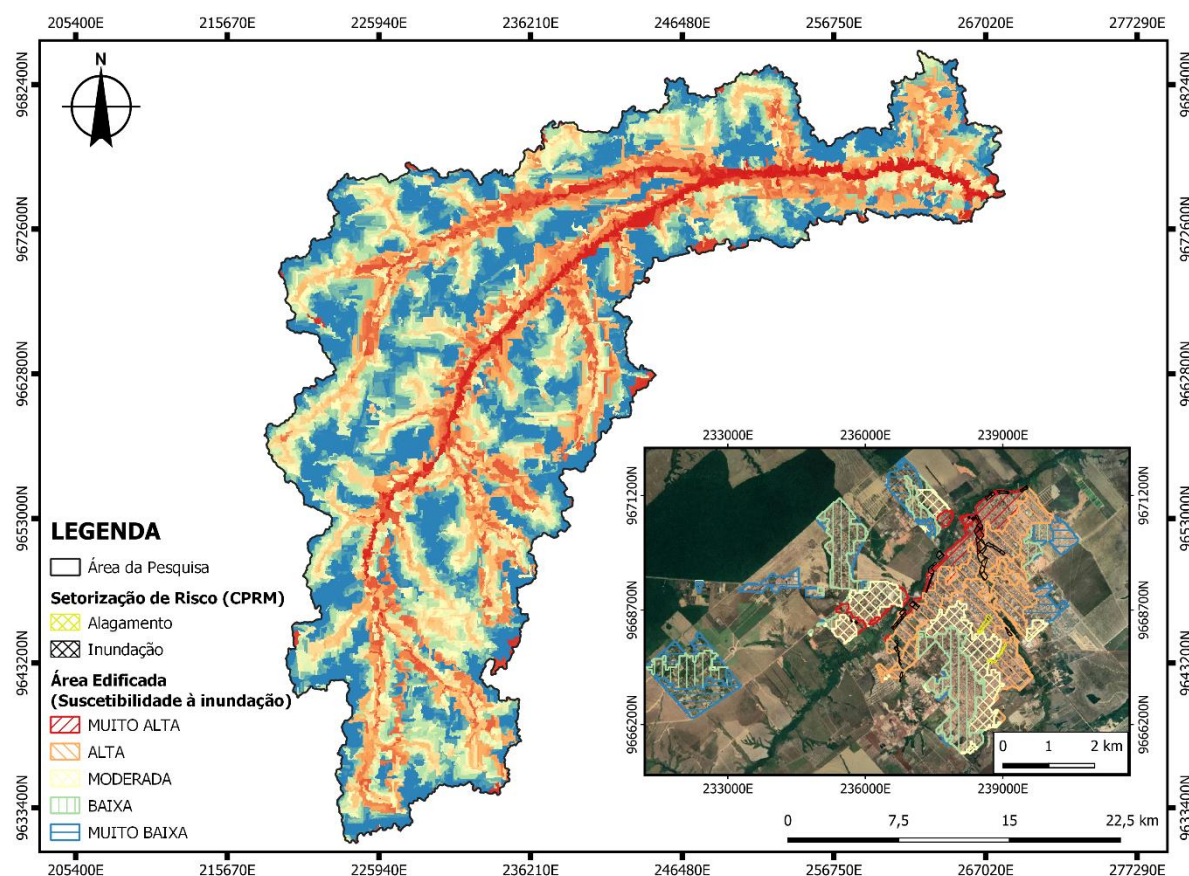
O mapa de suscetibilidade à inundação resultante da aplicação da técnica AHP Gaussiana, a qual integrou 11 fatores condicionantes, é mostrado na Figura 19. Na Tabela 6, são apresentados os resultados da aplicação, considerando a Média, Desvio Padrão, Fator Gaussiano e Fator Gaussiano Normalizado, para cada Critério (fator condicionante), considerando as 13.971 alternativas (microbacias).

Tabela 6 - Resultado da análise AHP Gaussiana.

Tipo	Critério	Média	Desvio Padrão	Fator Gaussiano	Fator G. Norma.
MAX	Pedologia	7,16E-05	0,0002432	3,3975003	0,1081505
MIN	Declividade	7,16E-05	0,000221	3,083766	0,098164
MIN	HAND	7,16E-05	0,000355	4,959889	0,157885
MAX	Uso e Cobertura	7,16E-05	3,21E-05	0,448052	0,014263
MAX	SPI	7,16E-05	0,000632	8,827394	0,280997
MAX	TWI	7,16E-05	1,49E-05	0,208595	0,00664
MAX	Fluxo Acumulado	7,16E-05	0,000547	7,645059	0,24336
MIN	Hipsometria	7,16E-05	1,64E-05	0,229402	0,007302
MIN	Distância do Rio	7,16E-05	0,000155	2,158524	0,068711
MAX	Precipitação	7,16E-05	2,43E-06	0,033977	0,001082
MAX	Geomorphons	7,16E-05	3,02E-05	0,422392	0,013446

Fonte: Autor.

Figura 19 - Mapa de suscetibilidade a inundações na SBAU.



Fonte: Autor.

A partir do Fator Gaussiano Normalizado, gerado o Rank/Classificação de suscetibilidade para a área de estudo, o mapa foi classificado em cinco categorias: cerca de 7,47% (74,98 km²) da SBAU está com uma suscetibilidade muito alta à inundação, enquanto as regiões de alta, moderada, baixa e muito baixa cobrem áreas de 26,03% (261,37 km²), 26,82% (269,32 km²), 19,25% (193,28 km²) e 20,43% (205,08 km²), respectivamente. O mapa também evidencia que uma porção de aproximadamente 38% das áreas edificadas do município de Paragominas estão sob uma condição de alta a muito alta suscetibilidade à inundação, uma vez que se desenvolveram às margens da rede de drenagem, conforme distribuição apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Distribuição, por classe de suscetibilidade, das áreas edificadas da SBAU.

Suscetibilidade à inundação	Áreas edificadas	
	km ²	%
Muito Alta	1,96	10,00
Alta	5,39	28,00
Moderada	3,18	17,00
Baixa	5,07	27,00
Muito Baixa	3,50	18,00
Total	19,10	100,00

Fonte: Autor.

As regiões que são altamente suscetíveis à inundação, concentradas nas imediações da confluência entre o rio Uraim e o igarapé Paragominas, apresentam uma combinação de características de baixa altitude, menor grau de declividade, elevados índices SPI e TWI, alta concentração de escoamento superficial e elevada proximidade com a rede de drenagem. Quando ocorre um evento de chuva intensa e longa duração, o maior escoamento superficial é observado nas áreas edificadas, devido ao aumento da superfície impermeável que diminui a perda de infiltração do solo, e fatores que contribuem para o aumento do escoamento superficial, como geomorfologia (planície de inundação), chuva de alta intensidade, declividade (terreno mais aplainado) e pedologia (MAHMOUD; GAN, 2018).

De modo a atestar a eficiência da metodologia aplicada e a realidade da classificação resultante, utilizou-se a base de informações geográficas do Projeto Setorização de Áreas de Risco Geológico para o município de Paragominas/PA, do CPRM, o qual obteve última atualização em maio de 2022. Importante ressaltar, que as setorizações de áreas de risco geológico desenvolvidas pelo CPRM delimitam apenas as áreas de risco alto e muito alto. Além disso, observa-se que foram filtrados e inseridos no mapa apenas os riscos relacionados a processos hídricos, os quais somam 23 setores.

Conforme apresentado na Figura 19, todos os 23 setores, representados por polígonos sólidos, também se enquadraram nas condições de alta a muito alta suscetibilidade à inundação, gerados neste estudo, corroborando positivamente com a aplicabilidade do produto cartográfico gerado. Importante destacar que, de acordo com Teixeira e Conceição (2022), estes setores representam que naquela região ocorreu pelo menos 1 (grau Alto) ou 3 (grau Muito Alto) eventos/ocorrências significativas, com alto potencial de causar danos, principalmente sociais (condição exclusiva para o grau Muito Alto) e envolvendo moradias de alta vulnerabilidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que os parâmetros morfométricos (condições físicas) da SBAU não condicionam naturalmente elevadas condições de suscetibilidade a enchentes e/ou inundações. Por outro lado, quando estes se juntam com outros fatores, especialmente o uso e cobertura da terra e alterações climáticas, o comportamento hidrológico muda e expõe parte da população do município de Paragominas a eventos de inundação. O estudo também demonstra que os seguintes fatores contribuem para o desenvolvimento de mapas de suscetibilidade a inundações: Uso e cobertura da terra; Solos; Geomorfologia (*Geomorphons*); Hipsometria; Declividade; SPI; TWI; Fluxo Acumulado; HAND; Distância do rio; e Precipitação.

Além disso, destaca-se a facilidade, flexibilidade, confiabilidade e rapidez de aplicação da análise AHP pelo fator Gaussiano, o qual permitiu obter os pesos e ordenar as alternativas sem a necessidade de aplicar comparações pareadas de alternativas e critérios. Ademais, o estudo promove o uso de SIG e Sensoriamento Remoto no mapeamento de suscetibilidade a inundações. Tais tecnologias ajudam a economizar custos e tempo, oferecendo resultados de maior confiabilidade. Por fim, o mapeamento da suscetibilidade às inundações na SBAU pode auxiliar no planejamento de riscos, por meio da previsão de áreas afetadas, bem como nas respostas de emergência às inundações e avaliações de impacto.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. B. **Morfometria e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos**. 2017. 134 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p. 117-124, 2003.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional** – Portal Hidroweb. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>. Acesso em: 28 mar. 2022.
- AZEVEDO, H. A. M. A.; BARBOSA, R. P. Gestão de recursos hídricos no Distrito Federal: uma análise da gestão dos Comitês de Bacia Hidrográfica. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 5, n. 13, p. 162- 182, 2011.
- BECKERS, A.; DEWALS, B.; ERPICUM, S.; DUJARDIN, S.; DETREMBLEUR, S.; TELLER, J.; ARCHAMBEAU, P. Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 13, n. 9, p. 2301-2318, 2013.
- BERNARDI, E. C. S. *et al.* Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.
- BODOQUE, J. M.; DÍEZ-HERRERO, A.; AMÉRIGO, M.; GARCÍA, J. A.; OLCINA, J. Enhancing flash flood risk perception and awareness of mitigation actions through risk communication: A pre-post survey design. **Journal of Hydrology**, v. 568, p. 769-779, 2019.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.
- BRAGA, H. C.; MOITA, G. F.; DE ALMEIDA, P. E. M. O uso da lógica fuzzy para suporte à tomada de decisões em modelagens de sistemas multiagentes. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia**, v. 2, n. 9, p. 124-137, 2016.
- BRASIL. **Decreto Nº 10.692**, de 3 de maio de 2021. Institui o Cadastro Nacional de Municípios com Áreas Suscetíveis à Ocorrência de Deslizamentos de Grande Impacto, Inundações Bruscas ou Processos Geológicos ou Hidrológicos Correlatos. Brasília, DF: Presidência da República, Disponível em: [http:// República, /www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019](http://Repubblica, /www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019). Acesso em 05 abr 2022.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **HAND Model. A new look over the landscape**. Disponível em: http://handmodel.ccst.inpe.br/?page_id=326&lang=en. Acesso em: 11/03/2022.
- BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 Jan. 1997.

BRASIL. **Lei nº 12.608**, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil- PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil- SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil- CONPDEC, Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/ Lei/L12608 .htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm). Acesso em 26 fev. 2022.

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do ribeirão arrudas e córrego da onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização**. 2012. 104f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

CALLOU, R. N. L. **O sonho de fundação de Paragominas-PA e o projeto nacional-desenvolvimentista na Amazônia: memórias, narrativas e identidades**. 2017. 101f. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Linguagens e Saberes na Amazônia. Universidade Federal do Pará, Bragança, 2017.

CARVALHO, A.P.V.; BRUMATTI, D.V.; DIAS, H.C.T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos, **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 148-156, 2012.

CASTRO, L. M. A. **Proposição de Metodologia para a Avaliação dos Efeitos da Urbanização nos Corpos de Água**. 2007. 297 f. Tese (Doutorado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

CHAPI, K; SING, V. P.; SHIRZADI, A.; SHAHABI, A.; BUI, D. T.; PHAM, B. T.; KHOSRAVI, K. A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. **Environmental Modelling & Software**, v. 95, p. 229-245, 2017.

CHAVES, H. L.; COSTA, M. E. L.; KOIDE, S.; ALMEIDA, T.; CICERELLI, R. E. Mapeamento de suscetibilidade à inundação utilizando o método da razão de frequência aplicado à bacia do riacho fundo - Distrito Federal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 148–166, 2021.

CORREA, D. L. **Análise da susceptibilidade a inundações na bacia hidrográfica do Rio Uraim, Paragominas - PA**. 2017. 57f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

COSTA, A. M. S.; LIMA, A. M. M.; ANDRADE, M. M. N. Alterações na Paisagem e seus Efeitos Sobre as Áreas de Preservação Permanente em Bacias Hidrográficas no Nordeste do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 2729-2740, 2019.

COSTACHE, R.; BUI, D. T. Identificação de áreas propensas a fenômenos de inundação repentina usando a tomada de decisão de múltiplos critérios, estatísticas bivariadas, aprendizado de máquina e seus conjuntos. **Ciência do Ambiente Total**, v. 712, p. 136492, 2020.

COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M., SILVA, M. Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal: TerraClass 2008. **Embrapa Informática Agropecuária - Livro científico (ALICE)**, 2013, 107 p. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/960817>. Acesso em: 04 abr. 2022.

DAHRI, N.; ABIDA, H. Monte Carlo simulation-aided analytical hierarchy process (AHP) for flood susceptibility mapping in Gabes Basin (southeastern Tunisia). **Environmental earth sciences**, v. 76, p. 1-14, 2017.

DAS, S. Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 60-74, 2019.

DAS, S.; GUPTA, A. Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. **Geoscience Frontiers**, v. 12, n. 5, p. 101-206, 2021.

EASTMAN, J. R. **Decision strategy analysis**. In: **Idrisi kilimanjaro 2: Guide to GIS and image processing**, 2003.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4 ed. Brasília, (DF): Embrapa, 2014, 376 p.

FALCÃO, E. C. **Degradação Ambiental Utilizando Avaliação Multicritério Espacial, no Município de Boa Vista–PB**. 2013. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis, **Engineering Geology**, v. 111, n. 1-4, p. 90-98, 2010.

FERREIRA FILHO, D. F.; BEZERRA, P. E. S.; SILVA, M. D. N. A.; RODRIGUES, R. S. S.; FIGUEIREDO, N. M. Aplicação de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas da rede hidrográfica: estudo de caso calha norte–PA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 277-299, 2019.

FERREIRA, R.; MOURA, M.; CASTRO, F. Uso de plataforma SIG na caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pancas–Brasil. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 210-216, 2015.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M.; CORRÊA, J. A. M. Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 680-693, 2017.

FRAGOSO, M. L. C.; SILVA, T. A. A. DESASTRE, RISCO E VULNERABILIDADE URBANA: UMA ANÁLISE A PARTIR DAS ENCHENTES E INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE ESCADA/PE, **Revista Cadernos de Ciências Sociais**, v. 1, n. 14, p.36-53, 2019.

FURLAN, A. R.; SPINELLI, J. Perigo de inundação e vulnerabilidade socioeconômica na área urbana de Erechim, RS (Brasil). **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 198-220, 2020.

GAIA-GOMES, J. H.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, G. L.; DELGADO, R. C. Physical parameters of the cachimbal river sub-basin associated to land scape change in Pinheiral-RJ, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 2, p. 268-278, 2018.

GONÇALVES, E. D. *et al.* Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). **Boletim Técnico Científico do Cepnor/Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 15, n. 1, p. 43-50, 2015.

GOUVEIA, I. C. M.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma proposta de aplicação de Geomorphons para a variável relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123-136, 2019.

GUERRA, A. T.; GUEDES, A. J. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

HONG, H.; PANAHI, M.; SHIRZADI, A.; MA, T.; LIU, J.; ZHU, A. X.; KAZAKIS, N. Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. **Science of the total Environment**, v. 621, p. 1124-1141, 2018.

HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. **Transactions/American Geophysical Union**, v. 13, p. 350-361, 1932.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

JANIZADEH, S.; AVAND, M.; JAAFARI, A.; PHONG, T. V.; BAYAT, M.; AHMADISHARAF, E.; LEE, S. Prediction success of machine learning methods for flash flood susceptibility mapping in the Tafresh watershed, Iran. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5426, 2019.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, n. 182, p. 147-156, 2013.

JORGE, J. X. S.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. 256 p.

KAZAKIS, N.; KOUGIAS, I.; PATSIALIS, T. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. **Science of the Total Environment**, v. 538, p. 555-563, 2015.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F.; MONTEIRO, L. R. Integração das ciências e das tecnologias para redução de desastres naturais: sócio-hidrologia e sócio-tecnologia, **Revista gest. sust. ambient.**, v. 7, p. 206-231, 2018.

LEAL, F. C. B. S.; BARBOSA, I. M. B. R.; AQUINO, J. T. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: o caso da Bacia Hidrográfica do rio Una em Pernambuco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. esp, p. 20-40, 2020.

LIMA, B. A.; SANTOS, M.; GOMES, A. E. S.; PEREIRA, D. A. M. Proposta De Um Framework Para Seleção De Um Chassi De Ônibus Urbano: Uma Abordagem A Partir Do Quadro De Tomada De Decisões E Dos Métodos AHP E AHP-Gaussiano. **Revista SIMEP**, v. 1, n. 2, p. 4-19, 2021.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORREA, M. M.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; LIMA, J. F. W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolo amarelos e argilosos dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas, **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, n.4, p. 1001-1011, 2009.

LIUZZO, L.; SAMMARTANO, V.; FRENI, G. Comparação entre diferentes métodos distribuídos para mapeamento de suscetibilidade a inundações. **Gestão de Recursos Hídricos**, v. 33, p. 3155-3173, 2019.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East, **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 216-229, 2018.

MALCZEWSKI, J.; JACKSON, M. Multicriteria spatial allocation of educational resources: an overview, **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 34, p. 219- 235, 2000.

MEDEIROS, M. D. **Vulnerabilidade socioambiental no município de Natal/RN**. 2014. 167 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MOJADDADI, H.; PRADHAN, B.; NAMPAK, H.; AHMAD, N.; GHAZALI, A. H. B. Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 8, n. 2, p. 1080-1102, 2017.

MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A.D. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, p. 200-208, 2016.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological processes**, v. 5, n. 1, p. 3-30, 1991.

MORAES, G. F.; LIMA, E. B. N. R.; FERRAREZ, E. M. Caracterização Fisiográfica e do uso e Ocupação do Solo das Microbacias Urbanas da Cidade de Cuiabá-MT. **E&S Engineering and Science**, v. 7, n. 2, p. 42-53, 2018.

MOREIRA, L.L.; KOBIYAMA, M. Panorama de estudos sobre índices de vulnerabilidade às inundações no Brasil através de revisão bibliográfica, **Revista Caminhos da Geografia**, v. 22, n. 79, p. 309-320, 2021.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNO, C.D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage—a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, n. 1-2, p. 13-29, 2011.

NYARKO, B. K. Application of a rational model in gis for flood risk assessment in Accra, Ghana. **Journal of spatial hydrology**, v. 2, n. 1, p.1-14, 2014.

OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Riscos Naturais: conceitos, componentes e relações entre natureza e sociedade. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 40, p. 94-109, 2017.

OLIVEIRA, S. S. D. J.; CORREA, J. R.; RIBEIRO, A. T.; VICENZOTT, B. N.; MARIANO, M. O.; PADILHA, J. C.; PAMPLONA, V. M. S. Percepção da população sobre arborização urbana em Paragominas, Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 51691-51701, 2020.

PEREIRA, M. D. R.; CRISTO, S. S. V. Análise da Susceptibilidade a Inundação na Bacia Hidrográfica do Córrego São João, Porto Nacional-TO, **Revista Interface**, v. 16, n. 16, p. 82-96, 2018.

PESSÔA, F. S; FAÇANHA, A. C. A Bacia Hidrográfica como unidade geossistêmica e territorial: em questão a Bacia do Parnaíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 735-744, 2016.

PRADHAN, B. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. **Journal of Spatial Hydrology**, v. 9, n. 2, 2010.

PRESS, F. *et al.* **Para entender a terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

RAHMATI, O.; POURGHASEMI, H. R.; ZEINIVAND, H. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran, **Geocarto International**, 2015.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

RHODEN, A. C. *et al.* A importância da água e da gestão dos recursos hídricos. **Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, n. 1, 2016.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. D. C.; SILVA, J. M. L.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

ROSS, J. L. S. FIERZ, M. S. M. **Geomorfologia Aplicada ao Planejamento Ambiental Territorial: Potencialidades e Fragilidades**. P. 58-77. In: Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. Org. Lourenço Magnoni Junior *et al.* São Paulo: Centro Paula Souza, 214p. 2017.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. The possibility of group choice: pairwise comparisons and merging functions. **Social Choice and Welfare**, v. 38, n. 3, p. 481-496, 2012.

SAMANTA, S.; KOLOA, C.; PAL, D. K.; PALSAMANTA, B. Flood Risk Analysis in Lower Part of Markham River Based on Multi-Criteria Decision Approach (MCDA), **Hydrology**, v. 3, n. 3, p. 1-13, 2016.

SANTOS, M.; COSTA, I. P. A.; GOMES, C. F. S. Multicriteria decision-making in the selection of warships: a new approach to the AHP method. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 13, n. 1, 2021.

SEMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente (Pará). Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará. Belém: SEMA, 2012.

SILVA, J. F. **Risco hidrometeorológicos em área urbana do município de São Luís - MA: vulnerabilidade, perigo e suscetibilidade associados**. 2022.189 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

SILVA FILHO, C. S.; ARAÚJO, S. R.; SODRÉ, S. S. V.; SANTOS, J. T. S. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos: Estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Benfica, região metropolitana de Belém/Pa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n. 3, p. 1458-1480, 2021.

SILVA JÚNIOR, J. A; LIMA, A. M. M; MORAES, B. C. **Gestão de Riscos e Desastres: experiências e desafios**. Belém: PPGGRD, 2022. *E-book*.

SILVA, C. O. F.; MEDEIROS, G. A. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiá-Mirim: diagnósticos e subsídios para gestão ambiental. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 7, n. 2, p. 441-454, 2018.

SILVEIRA, G. R. P. *et al.* Geoprocessamento aplicado na espacialização da capacidade de uso do solo em uma área de importância agrícola. **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 4, p. 363-371, 2015.

SLATER, L. J.; SINGER, M. B.; KIRCHNER, J. W. Hydrologic versus geomorphic drivers of trends in flood hazard. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 2, p. 370-376, 2015.

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 11, n. 25, 2012.

SOUSA, M. J. C.; SANTOS, F. de A. dos. Geoprocessamento aplicado à análise da vulnerabilidade socioespacial a inundações no bairro Colibri (Piracuruca -PI). **Revista CC&T**, v. 1, n.3, p.291-305, 2019.

STEPINSKI, T.; JASIEWICZ, J. Geomorphons - a new approach to classification of landform. In: HENGL, T.; EVANS, I. S.; WILSON, J. P.; GOULD, M. **Proceedings of Geomorphometry**. Redlands, p. 109-112, 2011.

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 69, n. 3, p. 279-300, 1958.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions/American Geophysical Union**, v. 38, p. 913-920, 1957.

TEHRANY, M. S.; JONES, S.; SHABANI, F. Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. **Catena**, v. 175, p. 174-192, 2019.

TEIXEIRA, S. G.; CONCEIÇÃO, R. A. C. Setorização de áreas de risco geológico: Paragominas, Pará. CPRM, 2022. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22742>. Acesso em 10 jan. 2023.

TEODORO, V. L. I. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar - Brazilian Multidisciplinary Journal**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

THYWISSEN, K. Core terminology of disaster reduction: A comparative glossary. **Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies**, p. 448-496, 2006.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TORRES, C. J. F. **Desenvolvimento Metodológico para Apoio à Tomada de Decisão sobre o Programa de Efetivação do Enquadramento dos Corpos D'Água**. 2014. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014, 944 p.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M; BERTONI, J. C (Org.). **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, GWP, WMO, 2003. p. 45-156.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente, SQA, Brasília, 2006.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. 2006. p. 151. Tese (Livre Docência na Especialidade/Disciplina Topografia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" USP, Piracicaba, 2006.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007. 319p.

VIEIRA, R.; ISENSEE, L. J.; CLAUDINO, G. O. Instrumentos legais como ferramentas para redução de riscos e desastres a inundações, **Redes**, v. 25, Ed. Especial, p. 1953-1972, 2020.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WILSON, J. S. J.; CHANDRASEKAR, N.; MAGESH, N. S. Morphometric analysis of major sub-watersheds in Aiyar & Karai Pottanar Basin, Central Tamil Nadu, India using remote sensing & GIS techniques. **Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science**, v. 2, p. 08-15, 2012.

**APÊNDICE A - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES NO ALTO CURSO
DO RIO URAIM (PARAGOMINAS/PA)**

CLAUDIO SANTOS DA SILVA FILHO
ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA
MILENA MARÍLIA NOGUEIRA DE ANDRADE

**MAPA DE SUSCETIBILIDADE A
INUNDAÇÕES NO ALTO CURSO
DO RIO URAIM
(PARAGOMINAS/PA)**

Belém-Pará
2023

APRESENTAÇÃO

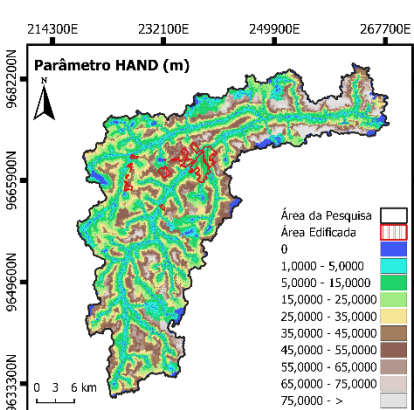
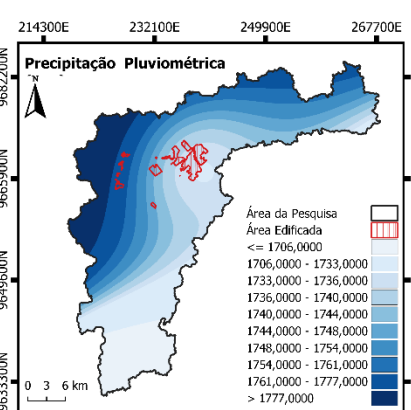
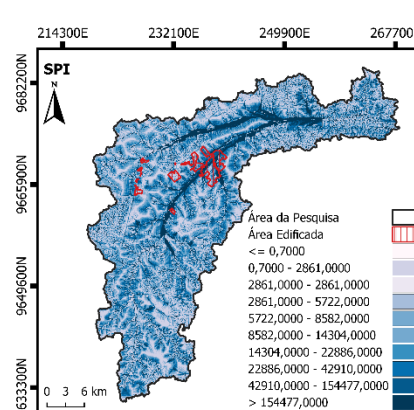
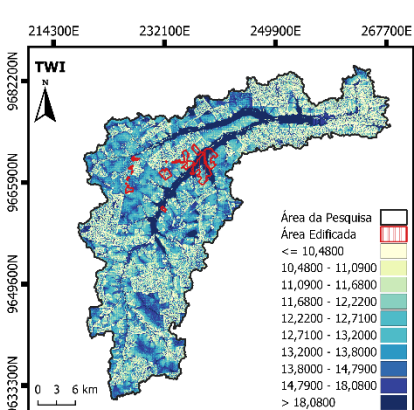
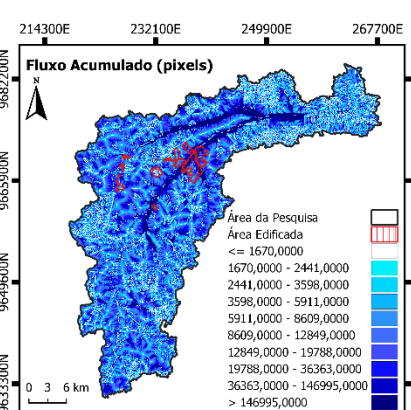
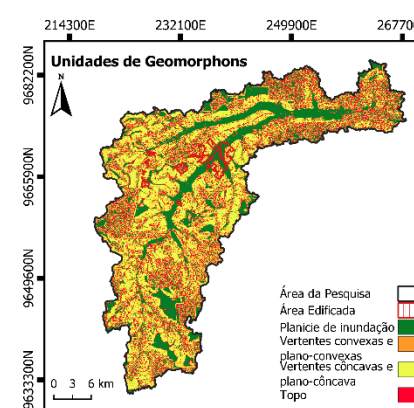
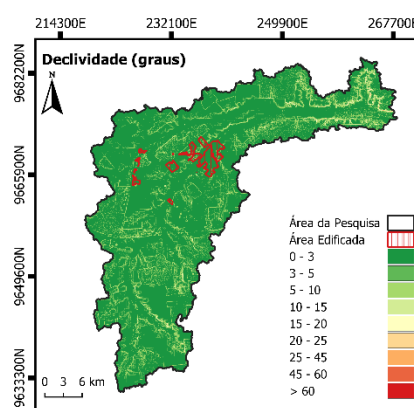
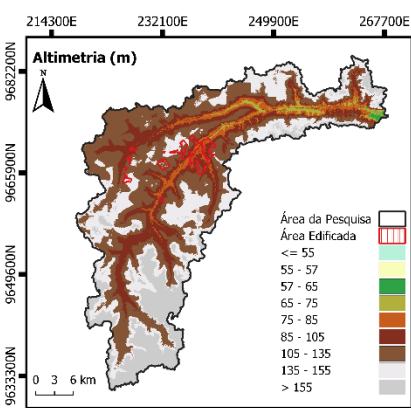
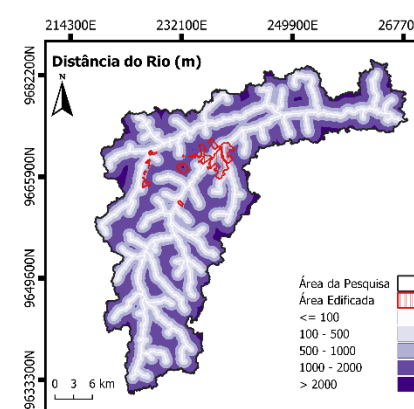
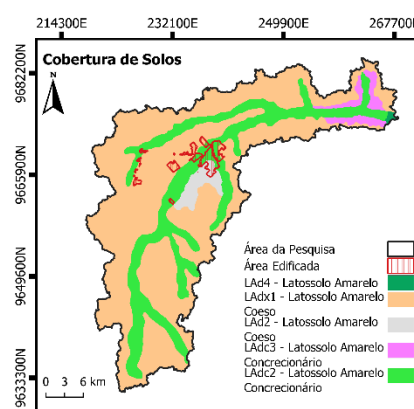
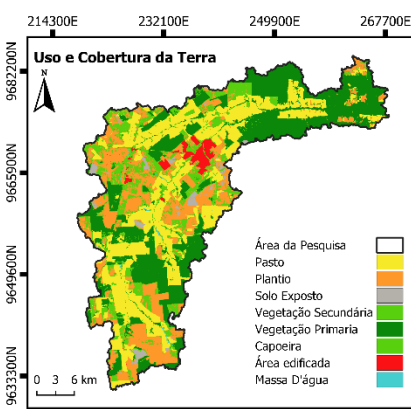
Este é um Produto Técnico vinculado à Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

A contribuição técnica do estudo realizado é apresentada através deste mapa com os diferentes graus de suscetibilidade a inundações na sub-bacia do alto curso do rio Uraim, localizada no município de Paragominas/PA, para fins de planejamento urbano. Além disso, este produto, a partir do uso de geotecnologias, soma-se aos esforços já em curso pelo poder público (CPRM e Defesa Civil) em mapear as áreas suscetíveis e de risco associados a processos hídricos, no município.

RECOMENDAÇÕES À GESTÃO DE RISCOS NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS (PA)

Como recomendações que se pode apresentar em função dos fatores condicionantes de inundação apresentados indica-se:

- Viabilizar a realocação da comunidade inserida na zona de muito alta suscetibilidade a inundações, as quais estão predominantemente localizadas nas margens dos cursos d'água, sobre a planície de inundação;
- Promover a recuperação das áreas de Preservação Permanente, garantindo assim a proteção das planícies de inundação e do próprio recurso hídrico contra processos erosivos e de assoreamento;
- Nas zonas de alta suscetibilidade, considerando a alta concentração de superfícies impermeáveis devido às habitações, instalação de macrodrenagens, dissipando a energia e volume concentrado sobre o igarapé Paragominas, onde considerável aporte de drenagem concentra-se no “Lago Verde”;
- Nas zonas de alta suscetibilidade, apesar da concentrada malha urbana, ainda há terrenos não habitados. Nesses, com a instalação de áreas verdes, novos parques ambientais para o município, grande parte da contribuição de escoamento superficial é amenizada, aumentando o volume de infiltração no solo. Essa ação também contribui para o planejamento de macrodrenagem;
- Promover políticas habitacionais nas zonas de baixa e/ou muito baixa suscetibilidade a inundações.



DADOS TÉCNICOS
Sistema de Coordenadas Planas
Datum: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S
Elaborado por Claudio Santos da Silva Filho

Produto técnico pertencente à dissertação
Geotecnologias aplicadas à análise de suscetibilidade à inundações: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do rio Uraim, Paragominas/PA
Autoria: Claudio Santos da Silva Filho
Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia
Universidade Federal do Pará

Mapa de Suscetibilidade a Inundações na SBAU

